

TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS *DAMAGE STABILITY* PADA DESAIN
AWAL FSO UNTUK LAPANGAN MINYAK
KAKAP DI LAUT NATUNA PROVINSI
KEPULAUAN RIAU**

Narendra Agrawira Cakasana
NRP. 4109 100 062

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D

Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT - MN 141581

**DAMAGE STABILITY ANALISYS FOR PRE-
DESIGN CONCEPT FSO ON KAKAP OIL FIELD
AT NATUNA SEA KEPULAUAN RIAU**

Narendra Agrawira Cakasana
NRP. 4109 100 062

Supervisor
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D

Department of Naval Architecture and Ship Building
Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *DAMAGE STABILITY* PADA DESAIN AWAL FSO UNTUK LAPANGAN MINYAK KAKAP DI LAUT NATUNA PROVINSI KEPULAUAN RIAU

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal

Program S1 Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Narendra Agrawira Cakasana

NRP. 4109 100 062

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.⁹¹

NIP. 19601202 198701 1 001

SURABAYA, JANUARI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISIS *DAMAGE STABILITY* PADA DESAIN AWAL FSO UNTUK LAPANGAN MINYAK KAKAP DI LAUT NATUNA PROVINSI KEPULAUAN RIAU

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 11 Januari 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal
Program S1 Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NARENDRA AGRAWIRA CAKASANA
NRP. 4109 100 062

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof.Ir.A. Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
2. Hasanudin, S.T., M.T.
3. Teguh Putranto, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof.Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 11 JANUARI 2017

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“ANALISIS *DAMAGE STABILITY* PADA DESAIN AWAL FSO UNTUK LAPANGAN MINYAK KAKAP DI LAUT NATUNA PROVINSI KEPULAUAN RIAU”** dengan baik. Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis haturkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW yang memberikan petunjuk kebenaran untuk kita semua. Ucapan terima kasih sedalam-dalamnya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D., Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dengan penuh kesabaran untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan tugas akhir.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D., sebagai Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS serta Dosen Wali penulis yang telah memberi pengarahannya dengan sabar selama menempuh masa perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
3. Jajaran Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
4. Keluarga besar penulis, Ibu dan Ayah yang selalu memberikan motivasi, dukungan dan doa yang luar biasa tak terkira.
5. Bapak Deddy Erryanto yang telah memberi pengalaman pekerjaan di bidang stabilitas ini sehingga menginspirasi pengerjaan tugas akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan tugas akhir di Laboratorium Perancangan Jurusan Teknik Perkapalan. Khususnya H. Ahmad Zamili Hasyim dan
7. Saudara-saudari P-49 (LAKSAMANA), khususnya Ardi Nugraha Yulianto, Prasetyanto Utomo, Abdullah Akribul Ilmi dan Sharah Luvita Putri M., terima kasih atas semangat, saran dan do'anya.
8. Mas Id Adha Mula (P46) yang telah memberi inspirasi dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada khususnya dan bagi semua pihak pada umumnya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

ABSTRAK

Analisis *Damage Stability* Pada Desain Awal FSO Untuk Lapangan Minyak Kakap Di Laut Natuna Provinsi Kepulauan Riau

Nama : Narendra Agrawira Cakasana
NRP : 4109 100 062
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.

Industri migas secara global mengalami perkembangan pesat seiring dengan bertambahnya permintaan pasar. Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak dan gas. Laut Natuna memiliki beberapa blok pengeboran minyak dan gas, salah satu di antaranya adalah lapangan minyak Kakap yang rencananya akan dieksploitasi. Produksi minyak semakin efektif jika dilakukan di dekat *reservoir* ditambah dengan keberadaan tempat untuk menampung minyak sebelum ditransfer ke daerah jawa dan sekitarnya oleh *Shuttle Tanker*. Hal ini melatarbelakangi penelitian mengenai *Floating Storage and Offloading (FSO)* yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan lapangan minyak di Laut Natuna dari segi infrastruktur. Dari desain awal *New build barge hull* dengan ukuran utama $L_{pp} = 215.2$ m, $B = 41.6$ m, $H = 23.2$ m, $T = 14.857$ m yang telah ada sebelumnya dilakukan analisa lanjutan terhadap kondisi *Damage Stability* nya. Mulai dari langkah awal dengan *redrawing* gambar, permodelan 3D, pemeriksaan tangki-tangki hingga pengolahan data *input* desain tersebut untuk di uji ke dalam beberapa pengecekan kriteria *Damage Stability* pada SOLAS 2009. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan apakah desain *barge hull Floating Storage and offloading* yang *acceptable* dari segi *Damage Stability* nya.

Kata kunci: *Barge, Floating Storage and Offloading , Damage Stability*, migas.

ABSTRACT

Damage Stability Analysis for Pre-Design Concept FSO on Kakap Oil Field at Natuna Sea Kepulauan Riau

Name : Narendra Agrawira Cakasana
NRP : 4109 100 062
Departement : Naval Architecture and Ship Building Engineering
Supervisor : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.

Global oil and gas industry has developed rapidly due to the increasing market demand. Indonesia is one of the countries producing oil and gas. Natuna Sea has some oil and gas drilling blocks, one of which is the oil field Snapper are planned to be exploited. Oil production is more effective if carried out near the reservoir coupled with the existence of a place to accommodate the oil before it is transferred to Java and surrounding areas by a shuttle tanker. This background research on the Floating Storage and Offloading (FSO) which aims to meet the needs of oil field in the Natuna Sea in terms of infrastructure. New build from the initial design to the size of the main hull barge $L_{pp} = 215.2$ m, $B = 41.6$ m, $H = 23.2$ m, $T = 14\ 857$ m preexisting conducted further analysis of the condition of Damage Stability her. Starting from the first step by redrawing drawings, 3D modeling, pemeriksaan tanks to the design input data processing to be tested into some checking Damage Stability criteria in SOLAS 2009. This research led to the conclusion whether the design of hull barge floating storage and offloading acceptable from Damage Stability its terms.

Keywords: Barge, Floating Storage and Offloading, Longitudinal Strength.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR REVISI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Gambaran Umum.....	2
1.2 Latar Belakang.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Maksud dan Tujuan	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Manfaat	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 Stabilitas	7
2.2.1 Pengertian Umum	7
2.2.2 Titik Penting Stabilitas	8
2.3 Pengertian Dasar Kebocoran (<i>Flooding</i>).....	12
2.4 Pengaruh Sekat Kedap pada Kapal (<i>Watertight Bulkhead</i>).....	12
2.5 Sejarah Munculnya <i>Damage Stability</i>	13
2.6 Perhitungan <i>Damage</i> dengan Pendekatan <i>Probabilistic</i>	13
2.7 <i>Damage Stability</i>	15
2.8 Metode Perhitungan <i>Damage Stability</i>	15
2.8.1 <i>Trim Line Added Wight Methode</i>	15
2.8.2 <i>Lost Bouyancy Methode</i>	16
2.9 Persyaratan SOLAS 2009 <i>Consolited Edition Chapter II-1 part B-1</i>	

Tentang <i>Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship</i>	16
2.10 Perhitungan SOLAS <i>Requirement</i>	17
2.11 Perhitungan faktor P_i	19
2.12 Perhitungan Faktor S_i	22
2.13 <i>Permeability</i>	22
2.14 Teori dan Pengertian FSO	23
2.15 <i>Software Maxsurf</i>	25
2.15.1 <i>Maxsurf Modeller</i>	25
2.15.2 <i>Maxsurf Stability</i>	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Pendahuluan	29
3.2 Langkah-Langkah Pengerjaan	30
3.3 Studi Literatur	31
3.4 Pengumpulan Data	32
3.5 Penggunaan Input Data	32
3.6 Perencanaan dan Penjadwalan	34
3.7 Pembuatan Model FSO pada <i>Maxsurf Modeller</i>	34
3.8 Pemeriksaan ukuran pada data model dan pada ukuran sebenarnya	34
3.9 Permodelan Tangki-tangki dan Kompartemen dengan <i>Software</i> <i>Maxsurf Stability</i>	35
3.10 Pengecekan kapasitas tangki-tangki pada model	35
3.11 Pembuatan <i>Loadcase</i>	35
3.12 Simulasi kebocoran pada model	36
3.13 Analisa dan pembahasan	36
BAB 4 PEMODELAN DAN PERHITUNGAN <i>DAMAGE STABILITY</i>	39
4.1 Pendahuluan	39
4.2 Membuat Model Kulit Kapal dengan <i>Maxsurf Modeller</i>	40
4.3 Pemeriksaan ukuran pada data model dan pada ukuran sebenarnya	46
4.4 Permodelan Tangki-tangki dan Kompartemen dengan <i>Software</i> <i>Maxsurf Stability</i>	48
4.5 Pengecekan kapasitas tangki-tangki pada model	51
4.6 Pembuatan <i>Loadcase</i>	52
4.7 Persiapan Simulasi Kebocoran pada model	59
4.7.1 Perencanaan Kebocoran	68

4.7.2	Pembuatan <i>Damage case</i>	75
4.8	Simulasi Kebocoran Pada <i>Software Maxsurf Stability</i>	76
4.9	Rekapitulasi Nilai Index R dan A	80
4.9.1	Nilai indeks R	80
4.9.2	Nilai Indeks A	81
4.9.3	Tabel Rekapitulasi index A	82
BAB 5.	ANALISA DAN PEMBAHASAN	85
5.1	Pendahuluan	85
5.2	Perbandingan Nilai Index A dan Index R	86
BAB 6.	KESIMPULAN DAN SARAN	89
6.1	Pendahuluan	89
6.2	Kesimpulan	90
6.3	Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN A -	93
LAMPIRAN B -	95
LAMPIRAN C -	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lapangan minyak Kakap di Laut Natuna.....	2
Gambar 2.1 Stabilitas Kapal	9
Gambar 2.2 Kapal saat Kondisi Stabil	10
Gambar 2.3 Kapal saat Kondisi Labil	11
Gambar 2.4 Kapal saat Kondisi Netral	11
Gambar 2.5 Segitiga Kebocoran pada kapal dengan 1 sekat memanjang.....	18
Gambar 2.6 Segitiga Kebocoran kapal dengan 2 atau lebih sekat memanjang.....	19
Gambar 2.7 <i>Floating Production System</i>	23
Gambar 2.8 FPSO Anoa Natuna.....	25
Gambar 2.9 Tampilan <i>Software Maxsurf Modeller</i>	26
Gambar 2.10 Tampilan <i>Software Maxsurf Stability</i>	27
Gambar 3.1 Langkah Pengerjaan Tugas Akhir.....	30
Gambar 3.2 <i>Lines Plan</i> desain awal FSO	33
Gambar 3.3 <i>Tank Arrangement</i> desain awal FSO.....	33
Gambar 3.4 Menu <i>probabilistic damage</i> pada <i>software Maxsurf Stability</i>	36
Gambar 3.5 Input <i>permeability software Maxsurf Stability</i>	37
Gambar 3.6 Diagram alur dari pembuatan model hingga tahap simulasi kebocoran.....	38
Gambar 4.1 Tampilan grafis dari <i>Maxsurf Modeller Advanced</i>	40
Gambar 4.2 <i>Import Background</i> pada <i>Maxsurf Modeller Advanced</i>	41
Gambar 4.3 <i>Image Background</i> tiap pandangan.....	41
Gambar 4.4 <i>Image Background</i> tiap pandangan.....	44
Gambar 4.5 <i>Add Surface</i> pada <i>Maxsurf</i>	43
Gambar 4.6 <i>Profil View</i>	43
Gambar 4.7 <i>Body Plan View</i>	44
Gambar 4.8 <i>Plan View</i>	44
Gambar 4.9 <i>Surface Properties</i>	45
Gambar 4.10 Model kapal desain awal FSO.....	46
Gambar 4.11 Cek data <i>Calculate Hidrostatic</i>	46

Gambar 4.12 Hasil kalkulasi Hidrostatik pada model.....	47
Gambar 4.13 <i>Software Maxsurf Stability</i>	49
Gambar 4.14 <i>Section Calculation Option</i>	49
Gambar 4.15 <i>Compartement Definition Window</i>	50
Gambar 4.16 Input data tangki pada <i>Compartement Definition Window</i>	50
Gambar 4.17 Model tangki-tangki desain awal FSO.....	51
Gambar 4.18 Hasil <i>running tank calibration</i>	51
Gambar 4.19 Menu <i>probabilistic damage</i> pada <i>software Maxsurf Stability</i> .	59
Gambar 4.20 Tabel <i>probabilistic damage</i> pada <i>software Maxsurf Stability</i> .	59
Gambar 4.21 Pemilihan <i>Resolution</i>	60
Gambar 4.22 Menentukan <i>loadcase</i> mana yang digunakan dalam analisis..	60
Gambar 4.23 Menentukan jumlah zona yang di analisa, sisi yg bocor dan Lokasi awal zona kebocoran.....	60
Gambar 4.24 Menentukan reduksi nilai R.....	61
Gambar 4.25 Posisi <i>Damage Zone</i> dan segitiga kebocorannya.....	63
Gambar 4.26 Posisi <i>Longitudinal Bulkhead</i> dan <i>Deck</i>	65
Gambar 4.27 <i>Damage Assumption</i>	68
Gambar 4.28 <i>Cargo side tank, wing ballast tank</i> dan <i>side water</i> <i>Ballast tank</i> di anggap 1 kompartemen.....	69
Gambar 4.29 Simulasi 1 zona bocor.....	69
Gambar 4.30 Simulasi 2 zona bocor.....	70
Gambar 4.31 Simulasi 3 zona bocor.....	71
Gambar 4.32 Simulasi 4 zona bocor.....	72
Gambar 4.33 Simulasi 5 zona bocor.....	72
Gambar 4.34 Simulasi 6 zona bocor.....	73
Gambar 4.35 Simulasi 7 zona bocor.....	73
Gambar 4.36 Simulasi 8 zona bocor.....	74
Gambar 4.37 Simulasi 9 dan 10 zona bocor.....	74
Gambar 4.38 Pembuatan <i>damage case</i>	75
Gambar 4.39 Tabel nilai faktor p.....	76
Gambar 4.40 Tabel nilai r.....	77
Gambar 4.41 Tabel nilai v.....	78

Gambar 4.42 Penampakan <i>running damage stability</i>	79
Gambar 4.43 Penampakan tabel hasil <i>running damage stability</i>	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Permeability</i>	22
Tabel 3.1. Perencanaan dan Penjadwalan Tugas Akhir.....	34
Tabel 4.1. Hasil kalkulasi Hidrostatik pada model.....	47
Tabel 4.2. perbandingan Hasil kalkulasi Hidrostatik.....	48
Tabel 4.3. Penyebaran Berat DWT Kapal.....	52
Tabel 4.4. <i>LightShip</i>	53
Tabel 4.5. <i>Full Load Ballast Tank</i>	55
Tabel 4.6. <i>Full Load Cargo Tank</i>	57
Tabel 4.7. <i>Global Probabilistic Damage</i>	62
Tabel 4.8. <i>Damages Zone</i>	63
Tabel 4.9. <i>Longitudinal Bulkhead</i>	64
Tabel 4.10. Posisi <i>Deck</i>	64
Tabel 4.11. <i>Permeability</i>	65
Tabel 4.12. <i>Permeability</i>	66
Tabel 4.13. Panjang kebocoran.....	68
Tabel 4.14. Rekapitulasi index A.....	83
Tabel 5.1. Rekapitulasi index A.....	86
Tabel 5.2. Perbandingan index A dan R.....	86

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Rumus Momen Stabilitas.....	9
Rumus 2.2 Rumus index R.....	17
Rumus 2.3 Rumus index A.....	17
Rumus 2.4 Rumus faktor Pi.....	20
Rumus 2.5 Rumus faktor Si.....	22
Rumus 4.1 Perhitungan index R.....	81
Rumus 4.2 Rumus index A.....	81
Rumus 4.3 Rumus faktor P.....	82



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Gambaran Umum

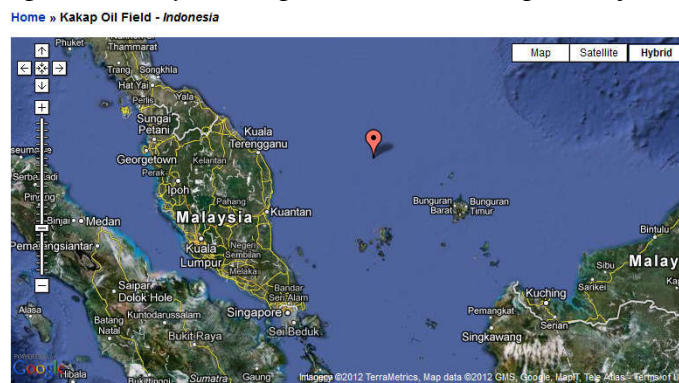
Pada bab 1 ini berisikan tentang latar belakang adanya suatu permasalahan yang dijadikan sebagai topik utama dalam pembuatan tugas akhir dimana bab ini juga berisikan rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, manfaat, serta sistematika dalam penulisan tugas akhir. Pembahasan permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini terdapat pada sub bab rumusan masalah. Dari permasalahan tersebut diperlukannya ruang lingkup atau batasan masalah agar tidak menyimpang jauh dari pembahasan yang sudah ditentukan, yang diatur dalam sub bab batasan masalah. Kemudian untuk sub bab maksud dan tujuan, serta manfaat membahas untuk apa tugas akhir ini dibuat dan manfaat apa saja yang diperoleh dalam pengerjaan tugas akhir ini. Serta dalam sub bab sistematika penulisan berisi bagaimana format penulisan tugas akhir ini.

1.2 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan industri minyak di Indonesia berkembang sangat pesat. Hal ini ditunjukkan dengan berbagai eksplorasi dan eksploitasi baik di darat maupun di laut lepas. Namun seiring dengan menipisnya sumber cadangan minyak dan gas di darat, maka saat ini kegiatan eksplorasi di laut lepas semakin berkembang. Banyak kegiatan pengeboran dilakukan di perairan laut dangkal. Fasilitasnya pun didukung oleh anjungan terpancang (*fixed platform*). Namun anjungan terpancang (*fixed platform*) menjadi tidak ekonomis apabila dibandingkan dengan anjungan terapung (*floating platform*) jika kedalaman perairan melebihi 500 meter (*deep water*) (Murdjito, 2013). Oleh karena itu suatu *floating platform* mempunyai peranan yang sangat penting dalam pengembangan ladang minyak di perairan dalam atau menengah dan menjadi suatu alternatif yang banyak dipilih daripada *fixed platform*. *Floating Storage and Offloading (FSO)* merupakan anjungan terapung yang banyak dipakai dalam operasional kondisi seperti ini.

Di Indonesia terdapat beberapa ladang minyak yang tersebar di laut lepas, salah satunya adalah Lapangan Minyak Kakap. Lapangan Minyak Kakap adalah salah satu ladang minyak yang terletak di Laut Natuna yang ditunjukkan pada gambar 1-1. Ladang minyak ini diestimasikan terdapat lebih dari 30 *trillion cubic feet (tcf)* yang ada didalamnya. Karena dianggap mempunyai cadangan minyak yang besar, maka dilakukan proses eksplorasi di daerah tersebut.

Sumber : Tempo-Economy edisi april 2011. Diakses pada 9 juni 2012



Gambar1-1 Lapangan Minyak Kakap di Laut Natuna

Sumber : Google Earth. Diakses pada 10 juni 2012

Lapangan minyak ini terdapat lebih kurang 5 *platform* pengeboran yang terdiri dari beberapa sumur (*well*). Oleh *Fixed Platform* yang beroperasi disana sumur – sumur dieksplorasi dan diproses sehingga menghasilkan minyak mentah (*wet oil production*) dan zat-zat sisa. Zat-zat sisa tersebut diolah kembali sedangkan minyak mentah tersebut kemudian dialirkan ke FSO untuk ditampung. Dalam beberapa waktu periode, minyak yang tertampung didalam FSO tersebut akan diambil oleh *Shuttle Tanker* untuk dibawa ke darat dan diproses lebih lanjut.

Dalam perngoperasian FSO, terdapat resiko kebocoran yang disebabkan oleh berbagai kejadian, oleh karena itu pada perancangan FSO diperlukan perhitungan stabilitas kebocoran untuk mengetahui olah gerak kapal pada kondisi kebocoran, atau bisa disebut perhitungan *Damage Stability*.

Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan Analisa *Damage Stability* dari desain awal FSO hasil penelitian Utomo. (2013), yang akan beroperasi di Laut Natuna seperti yang telah dijelaskan. Di mana analisis juga akan dilakukan untuk memeriksa apakah *damage stability* untuk kapal ini memenuhi kriteria *Damage Stability* IMO SOLAS.

Tugas Akhir ini akan mengkaji *damage stability* atau stabilitas kapal bocor pada kapal Desain awal FSO untuk lapangan minyak kakap di Laut n Natuna dan memodelkan kapal FSO serta tangki-tangki atau kompartemen yang ada di dalamnya dengan menggunakan *software Maxsurf Modeller* dan *Maxsurf Stability*. Selanjutnya mensimulasikan kebocoran pada kompartemen-kompartemen kapal, mulai dari satu kompartemen yang bocor hingga seluruh kompartemen dalam kapal mengalami kebocoran. Setelah itu menghitung dan menganalisa *damage stability* kapal desain awal FSO apakah sudah sesuai dengan peraturan SOLAS *chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and damage stability of cargo ships*.

1.3 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang tersebut di atas permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana hasil analisa *Damage Stability* kapal ini?

2. Apakah hasil analisa *Damage Stability* Desain Awal FSO sudah memenuhi kriteria SOLAS chapter II-1 Part B-1 tentang *Subdivision and Damage Stability for Cargo Ship*?

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa *Damage Stability* dari rancangan awal atau *concept design* FSO yang dapat beroperasi di lapangan minyak Kakap di Laut Natuna sesuai dengan *design requirements*. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui hasil analisa *Damage Stability* dari *Concept design* FSO ini.
2. Menentukan apakah hasil analisa *Damage stability* FSO ini memenuhi kriteria SOLAS chapter II-1 Part B-1 tentang *Subdivision and Damage Stability for Cargo Ship*?

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Data awal dari penelitian ini menggunakan data dari penelitian Utomo, (2013).
2. Output dari penelitian ini hanya terbatas pada analisa *Damage Stability*.
3. Hidrodinamika dan beban dinamis dari green sea load diabaikan.
4. Peraturan yang digunakan untuk perhitungan *Damage Stability* adalah IMO SOLAS Chapter II-1 Part B-1 tentang *Subdivision Damage Stability of Cargo ships*.

1.6 Manfaat

Dengan adanya analisa *Damage Stability* pada desain awal FSO hasil penelitian sebelumnya diharapkan dapat memberikan tambahan data untuk desain awal FSO yang dapat digunakan oleh operator dalam wilayah lapangan minyak Kakap di laut Natuna Provinsi Kepulauan Riau. Di samping itu, perencanaan awal ini juga dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa untuk analisis selanjutnya maupun penelitian lain yang sejenis.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini dimulai dengan pendahuluan pada bab pertama yang menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan.

Dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi Tugas Akhir ini dijelaskan pada bab kedua. Secara rinci bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian Tugas Akhir, dasar-dasar teori, persamaan-persamaan dan *code* yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini dicantumkan dalam bab ini.

Bab ketiga pada penulisan laporan Tugas Akhir ini menerangkan tentang metodologi penelitian beserta langkah pengerjaan yang digunakan untuk mengerjakan Tugas Akhir. Penjelasan pemodelan dan pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian Tugas Akhir juga dicantumkan dalam bab ini.

Pada bab keempat akan dibahas proses pengerjaan dalam penelitian Tugas Akhir yang berupa analisa *Damage Stability* ini. Proses pengerjaan mendeskripsikan urutan dari nol hingga desain siap dianalisis *Damage Stability* nya.

Pada bab kelima akan diterangkan perhitungan analisis *Damage Stability* Dimana akan dilakukan dengan *Software Maxsurf Stability*.

Selayaknya sebuah laporan penelitian, bab keeneam atau sekaligus bab terakhir adalah bab yang menguraikan simpulan hasil penelitian. Bab ini berisi tentang rangkuman hasil proses desain hingga analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya. Di samping itu, penulis juga menyertakan beberapa rekomendasi atau saran untuk penelitian selanjutnya maupun penelitian dengan topik yang sama.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan secara detail dasar teori termasuk rumus-rumus pendekatan yang digunakan. Dalam bab ini juga akan diterangkan konsep-konsep yang mendukung pengerjaan Tugas Akhir ini, mulai dari tinjauan dasar Desain, Stabilitas, Kebocoran dan *Damage Stability*, teori-teori tentang *FPSO/FSO* dan deskripsi *software maxsurf*.

2.2 Stabilitas

2.2.1 Pengertian Umum

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang

menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM. Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ). Kemudian setelah harga GZ didapat, maka dilakukan pengecekan dengan "*Intact Stability Code, IMO*".

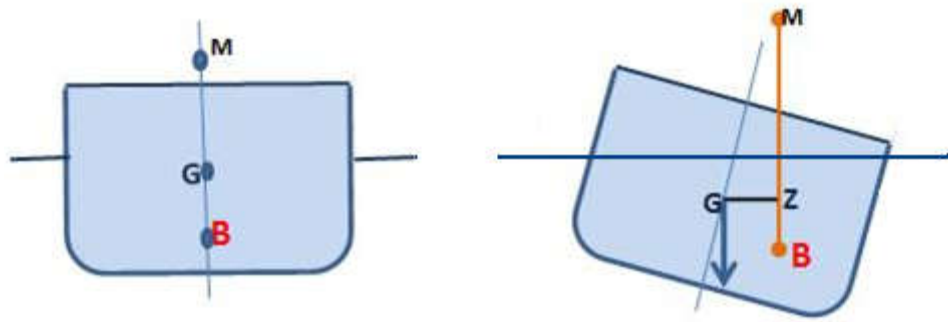
Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal, merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat senget (kemiringan) yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar (Rubianto, 1996). Sama dengan pendapat Wakidjo (1972), bahwa stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal menyenget oleh karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya.

Pendapat lain mengenai stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk mengembalikan dari posisi oleng atau *heel* melintang kapal menuju ke posisi tegak kembali, setelah pengaruh gaya-gaya luar yang menyebabkan oleng dihilangkan. Jadi yang dimaksud dengan kemampuan kapal untuk mengembalikan dari posisi oleng ke posisi tegak berupa besaran dalam bentuk momen penegak dan enersi potensial dan untuk selanjutnya disebut stabilitas statis dan dinamis. Dalam teori bangunan kapal, stabilitas statis dan stabilitas dinamis dapat ditinjau dari sudut oleng. Bila sudut oleng yang terjadi kurang dari 9° maka disebut stabilitas statis awal dan stabilitas dinamis awal. Dan bila lebih besar dari 9° disebut stabilitas statis lanjut dan stabilitas dinamis lanjut.

2.2.2 Titik Penting dalam Stabilitas

Ada tiga titik yang penting dalam stabilitas kapal (Gambar 2-1) yaitu:

- G adalah titik pusat gravitasi kapal
- B adalah titik pusat apung kapal
- M adalah *metacentre* kapal



Gambar 2.1. Stabilitas kapal, pusat gravitasi (G), pusat daya apung (B), dan *Metacenter* (M) pada posisi kapal tegak dan miring. Sebagai catatan G pada posisi tetap sementara B dan M berpindah kalau kapal miring.

Titik G adalah titik berat kapal yang dipengaruhi oleh konstruksi kapal. Titik B adalah titik tekan gaya apung dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup dalam air. Titik M adalah titik perpotongan gaya tekan ke atas pada keadaan tetap dengan vektor gaya tekan ke atas pada sudut oleng kecil.

Pada keadaan kapal setimbang, titik G dan B harus berada pada satu garis vertikal terhadap permukaan zat cair, dan besarnya gaya berat harus sama dengan gaya tekan ke atas. Apabila mendapat gaya dari luar, akan menyebabkan kemiringan, baik oleng maupun trim dengan asumsi titik G tidak mengalami perubahan tempat, atau dengan kata lain muatannya bergeser, maka titik B akan berpindah tempatnya. Akibat kemiringan kapal, maka letak titik B akan berpindah juga sesuai dengan perubahan bentuk kapal yang tercelup. Jadi untuk kapal yang mengalami oleng, titik B akan berpindah menjadi B_o pada bidang memanjang kapal.

Keadaan oleng kapal menyebabkan titik G dan B_o tidak terletak dalam satu garis vertikal lagi terhadap air yang baru. Maka kapal akan mengalami momen kapal sebesar M yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$M = P \times Gz$$

Rumus 2.1 Rumus Momen Stabilitas

Di mana :

P = berat kapal (Ton)

GZ = lengan kopel (m)

$$= MG \sin \alpha$$

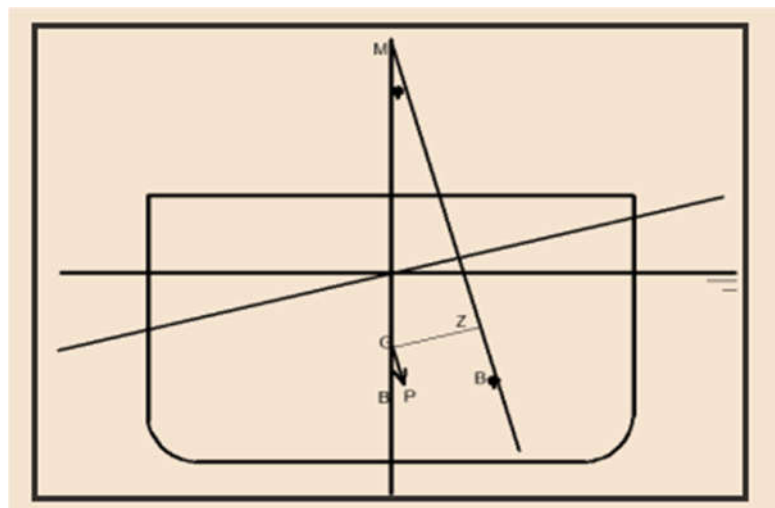
MG = tinggi metacentre (m)

$$= MK - KG$$

$$= MB + KB - KG$$

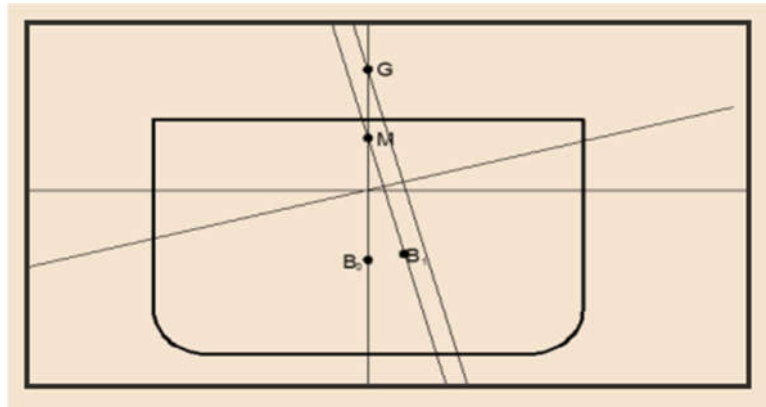
Berdasarkan kedudukan titik berat, ada tiga kondisi dalam stabilitas, yakni stabil, netral dan labil.

1. Titik G berada di bawah titik M . Pada kondisi ini MG berharga positif dan kapal dalam kondisi stabil. Apabila mendapat gaya dari luar, maka akan dibalas dengan momen pengembali sebesar $P \times GZ$.



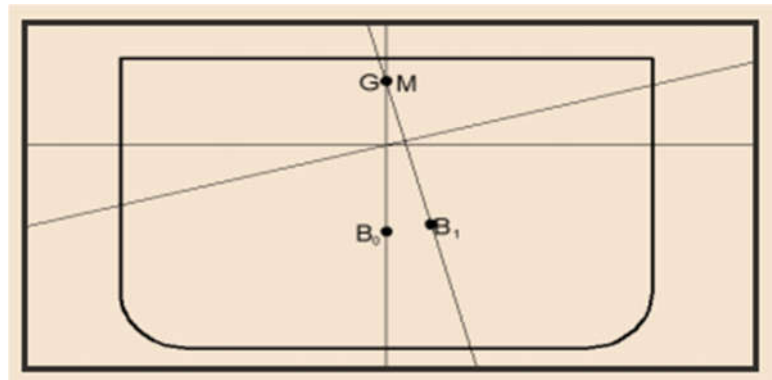
Gambar 2.2. Kapal saat Kondisi Stabil

2. Titik M berada di bawah titik G . Pada kondisi ini MG berharga negatif sehingga kapal dalam keadaan labil. Bila mendapatkan gaya dari luar, maka kapal tidak akan bisa kembali dalam keadaan semula.



Gambar 2.3. Kapal saat Kondisi Labil

3. Titik M berimpit dengan titik G. Pada kondisi ini MG sama dengan 0 dan kapal dalam kondisi netral atau *indifferent*.



Gambar 2.4. Kapal saat Kondisi Netral

Ada 2 perhitungan stabilitas untuk kapal, yaitu *intact stability* dan *damage stability*. *Intact stability* adalah perhitungan stabilitas kapal utuh (tidak bocor) yang dihitung pada beberapa kondisi tangki untuk tiap-tiap derajat kemiringan kapal. Perhitungan *intact stability* dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal kembali pada posisi kesetimbangannya setelah mengalami kemiringan. Sedangkan *damage stability* adalah perhitungan kapal bocor (*damage*) yang dihitung pada beberapa kondisi untuk tiap-tiap derajat kemiringan. Perhitungan *damage stability* ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kapal untuk menahan kebocoran agar tetap stabil ketika lambung kapal rusak atau bocor.

Dalam proses perhitungan stabilitas kapal, ada beberapa kriteria yang menjadi persyaratan apakah stabilitas suatu kapal memenuhi atau tidak. Kriteria tersebut secara umum tercantum pada *IMO regulation*

untuk stabilitas. Di samping itu ada juga pada peraturan atau *rule* yang diterbitkan oleh *classification society* seperti BKI, DNV, ABS, dll.

2.3 Pengertian Dasar Kebocoran (*Flooding*)

Kapal adalah suatu bangunan apung yang tersusun dari pelat- pelat besi dan baja. Kapal mempunyai kompartemen-kompartemen atau tangki-tangki. Jika kulit kapal (pelat kapal) mengalami kerusakan maka akan mengakibatkan air laut masuk ke dalam ruangan atau kompartemen kapal tersebut. Hal ini berlangsung sampai terjadi keseimbangan baru dari kapal atau sampai kapal itu sendiri tenggelam karena kemasukan air. Dalam praktiknya mustahil untuk membuat kapal yang benar-benar mampu bertahan untuk tidak mengalami kebocoran (*flooding*) baik karena kecelakaan, kandas, ataupun sebab lainnya. Oleh sebab itu, para *naval architect* berusaha semaksimal dan seoptimal mungkin untuk mengurangi kemungkinan kapal tenggelam akibat kebocoran (*flooding*), baik dari segi konstruksi maupun peraturan dan standard pelayaran. Peraturan dan standart yang mengatur tentang kebocoran pada kapal kargo ini yaitu SOLAS tentang *Subdivision and Damage Stability*.

2.4 Pengaruh Sekat Kedap pada Kapal (*Watertight Bulkhead*)

Banyak para ahli mengatakan bahwa semakin banyak sekat kedap pada suatu kapal, maka kapal akan semakin aman dari bahaya tenggelam jika mengalami kebocoran (*flooding*). Hal itu dikarenakan jika suatu kapal terjadi kebocoran pada satu kompartemennya maka air yang masuk tidak akan menyebar ke seluruh bagian kapal karena dibatasi oleh sekat kedap air yang letaknya berdekatan. Secara teori hal ini memang benar dan rasional, namun kenyataan di lapangan menjelaskan bahwa kebocoran terjadi tidak sepenuhnya hanya pada satu kompartemen akan tetapi bisa dua, tiga, empat, atau bahkan lebih kompartemen yang saling berdekatan.

Menurut logika, semakin banyak sekat maka kapal akan semakin aman. Dilihat dari segi pemenuhan kekuatan dan faktor keaamanan terhadap kebocoran penerapan teori tersebut sangat masuk akal. Apalagi jika diterapkan pada kapal tanker dan dilihat dari sudut pandang stabilitas, hal ini

tentunya sangat menguntungkan karena semakin banyak sekat maka permukaan bebas zat cair yang ada dalam ruang muat semakin kecil sehingga efek yang ditimbulkan muatan cair pada stabilitas kapal juga kecil akan tetapi dilihat dari segi ekonomis penambahan banyak sekat kedap membuat berat mati kapal menjadi naik. Jika teori ini diterapkan pada kapal kargo hal ini akan cukup berdampak serius karena semakin banyak sekat maka panjang masing-masing ruangan akan semakin kecil. Hal ini akan berpengaruh pada jenis muatan, banyaknya muatan yang dapat diangkut dan pendapatan yang mungkin menurun. Inilah yang ditentang oleh pemilik kapal.

2.5 Sejarah Munculnya *Damage Stability*

Setelah melalui berbagai pembahasan akibat banyaknya kapal yang tenggelam akibat dari kebocoran (Titanic 1912, Morro Castle dan Mohawk pada 1930an), akhirnya pada tahun 1926 telah disepakati mengenai penerapan *factorial system of subdivision* yang mensyaratkan kapal mempunyai minimal satu kompartemen standard. Pada tahun 1960 persyaratan ini diubah menjadi minimal dua kompartemen standart. Pada tahun 1964 disepakati suatu aturan mengenai *floodable length*. Aturan ini mensyaratkan bahwa jika terjadi satu atau dua kompartemet yang mengalami kebocoran maka kapal harus maksimal masih mempunyai sarat sampai garis batas tenggelam atau sering disebut *margin line* (76mm dibawah garis geladak). Namun diakhir tahun 1980an ditemukan fakta bahwa metode atau aturan ini masih belum cukup untuk menjamin kapal untuk selamat jika terjadi suatu kebocoran, karena aturan ini tidak mencantumkan perhitungan stabilitas kapal. Padahal stabilitas adalah karakteristik utama kapal yang harus diperhatikan. Akhirnya dibuat sebuah perhitungan yang menggabungkan kebocoran dan stabilitas yang disebut *damage stability*. Perhitungan ini diakui untuk digunakan dan dibukukan pertama kali pada PNA Vol I tahun 1982.

2.6 Perhitungan *Damage* dengan Pendekatan *Probabilistic*

Dalam menghitung kebocoran dahulu para ahli menggunakan metode pendekatan *deterministic*, artinya dalam melakukan perhitungan sudah

ditentukan lebih dahulu satu atau dua kompartemen yang akan mengalami kebocoran, sehingga volume air yang masuk dianggap tidak ada artinya jika dibandingkan dengan displacement kapal. Serta juga telah ditentukan akibat yang akan timbul yaitu oleng yang terjadi tidak lebih dari 6 (stabilitas awal) dan garis air maksimal setelah bocor adalah *margin line* (garis yang jaraknya 3" dibawah geladak kekuatan).

Pendekatan di atas sekarang sudah tidak bisa lagi digunakan karena kenyataan nya tidak dapat ditentukan kompartemen manan yang mengalami kebocoran dan bagaimana akibat yang ditimbulkannya. Sehingga digunakan pendekatan baru yang lebih mendekati kenyataan dilapangan yaitu pendekatan *probabilistic*. Pendekatan ini melakukan satu perhitungan yang mencakup seluruh kemungkinan kasus kebocoran sepanjang kapal yang bisa terjadi serta kemungkinan dari akibat yang ditimbulkannya. kemungkinan kasus kebocoran tersebut bisa terjadi pada satu, dua, tiga atau lebih kompartemen yang saling berdekatan. Jadi dengan metode ini konfigurasi seluruh letak sekat memanjang maupun melintang kapal dapat dinyatakan "relatif mampu" atau tidak untuk membuat kapal bertahan jika mengalami *flooding* tanpa perlu menghitung jarak per sekat.

Untuk mengakomodasi pendekatan baru ini dalam *perhitungan damage stability*, maka IMO membuat suatu set perhitungan melalui serangkaian penelitian dan berdasar pengalaman yang ada. Hal ini kemudian dituangkan dalam SOLAS *requirement Chapter II Part B-1* tentang *Subdivision and damage stability of cargo ship* yang mulai diberlakukan pada tanggal 1 Februari 1992.

Perhitungan SOLAS telah mencakup 2 hal yang disyaratkan dan dibutuhkan dalam perhitungan *damage stability* berdasarkan pendekatan *probabilistic*, yaitu:

1. Perhitungan (Pi) yang mengakomodasi *probabilistic* atau kemungkinan tentang kompartemen atau grup kompartemen mana yang akan mengalami kebocoran. Kemungkinan ini berlaku sepanjang kapal, yaitu mulai 1 kompartemen bocor sampai kemungkinan kompartemen seluruh panjang kapal mengalami bocor. Yang perlu dicatat bahwa kemungkinan

bocor dari grup kompartemen yang terjadi adalah kompartemen yang saling berdekatan.

2. Perhitungan (Si) yang mengakomodasi *probabilistic* atau kemungkinan atas keselamatan kapal jika kapal mengalami kebocoran pada kompartemen atau grup kompartemennya. Kemungkinan ini juga berlaku sepanjang kapal.

2.7 Damage Stability

Damage stability atau dalam bahasa Indonesia stabilitas saat kapal bocor adalah keadaan stabilitas kapal pada saat mengalami kebocoran (masuknya air laut ke dalam kompartemen kapal yang bisa terdiri dari satu kompartemen atau lebih dari satu kompartemen yang saling berdekatan).

Pada perkembangan dunia perkapalan, perhitungan *damage stability* dibuat untuk menggantikan perhitungan *floodable length* dan perhitungan *intact stability* yang terbukti sudah tidak aman lagi untuk menjamin keselamatan kapal jika terjadi kebocoran. Pada awalnya perhitungan *damage stability* dihitung dengan menggunakan pendekatan *deterministic*, tetapi pada perkembangan terakhir, tahun 1990-an, perhitungan *damage stability* dihitung dengan menggunakan pendekatan *probabilistic* karena mendekati kejadian yang sebenarnya ketika kapal mengalami kebocoran. Mulai tanggal 1 Februari 1992 perhitungan *damage stability* dengan menggunakan pendekatan *probabilistic* resmi disyaratkan oleh SOLAS.

2.8 Metode Perhitungan Damage Stability

Untuk menghitung *damage stability* terdapat 2 metode yang biasa digunakan, yaitu :

2.8.1 Trim Line Added Wight Methode

Prinsip dari metode perhitungan ini adalah bahwa ketika kapal mengalami kebocoran maka ruangan yang kemasukan air tersebut masih dianggap sebagai bagian dari kapal. Sedangkan air yang masuk itu dianggap sebagai berat tambahan bagi kapal. Karena adanya berat tambahan ini maka displacement kapal akan berubah dari displacement

awal kapal sebelum kebocoran. Jika displacement bertambah maka secara otomatis sarat kapal akan naik.

2.8.2 *Lost Buoyancy Methode*

Prinsip dari metode perhitungan ini adalah bahwa ketika kapal mengalami kebocoran, maka ruangan yang kemasukan air sudah tidak dianggap lagi sebagai bagian dari kapal. Karena bagian kapal berkurang, maka besar *buoyancy* atau gaya tekan ke atas juga berkurang. Berkurangnya *buoyancy* maka pada kapal akan terjadi sinkage yang menyebabkan sarat kapal akan naik.

2.9 Persyaratan SOLAS 2009 Consolited Edition Chapter II-1 part B-1 Tentang *Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship*

Persyaratan ini berlaku efektif mulai 1 Februari 1992, artinya semua kapal kargo yang dibangun pada dan setelah tanggal tersebut harus mengikuti aturan dan persyaratan yang telah dibuat dan dimuat dalam *SOLAS Chapter II-1 Part B-1 Regulasi 5 hingga 7-3*.

Dalam persyaratan SOLAS akan didapat istilah-istilah yang berhubungan dengan perhitungan yaitu :

1. *Subdivision Load line*: garis air yang digunakan untuk menentukan jarak sekat pada kapal.
2. *Deepest Subdivision Load Line*: *subdivision Load Line* yang merupakan sarat kapal pada musim panas (*summer draught*).
3. *Partial Load Line*: sarat kapal kosong ditambah 60% jarak antara sarat kapal kosong dan *deepest Subdivision Load Line*.
4. *Light Services Draft* : sarat kapal yang disesuaikan pada antisipasi muatan paling ringan yang dibutuhkan untuk menjaga kondisi stabilitas atau tercelupnya propeller.
5. *Subdivision Length of The Ship (Ls)* : panjang yang diukur antara garis tegak pada *deepest Subdivision Load Line*.
6. *Mid length*: titik tengah dari *Subdivision length*.
7. Aft terminal : ujung belakang dari *Subdivision length*.
8. *Forward terminal* : ujung depan dari *Subdivision length*.

9. *Breadth* (B) : lebar terbesar kapal pada *deepest Subdivision Load Line*.
10. *Draught* (d) tinggi dari moulded baseline pada titik tengah *Subdivision length* ke *Subdivision Load Line*.
11. *Permeability* (p) : bagian dari volume ruang muat yang dapat ditempati oleh air bocor.

2.10 Perhitungan SOLAS Requirement

Peraturan SOLAS tentang *Subdivision* dibuat dimaksudkan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi kapal yang masih mempengaruhi standart keselamatan. Memenuhi atau tidaknya *Subdivision* satu kapal ditempatkan oleh suatu indeks derajat sub division (R) untuk kapal cargo dengan $L_s > 100\text{m}$ yang didefinisikan seperti persamaan dibawah ini:

$$R = 1 - (128 / (L_s + 152))$$

Rumus 2.2 Rumus index R

Indeks derajat *subdivision* yang dicapai (*Attained Subdivision Indeks*, A) sebuah kapal tidak boleh kurang dari harga indeks R. Indeks A dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$A = \sum p_i s_i$$

Rumus 2.3 Rumus index A

Dimana :

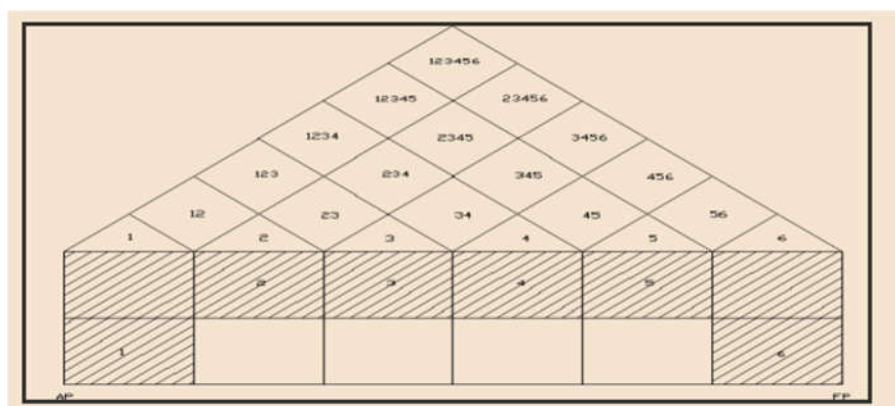
- i = Menunjukkan kompartemen atau kelompok kompartemen yang berdekatan dan dianggap dapat mengalami kebocoran dan memberikan kontribusi yang significant terhadap nilai A.
- Pi = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas/kemungkinan bahwa kompartemen yang dipilih (i) akan dapat mengalami kebocoran.
- Si = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukan probabilitas kemungkinan kapal selamat setelah kompartemen yang dipilih (i) mengalami kebocoran.

Perhitungan ini harus mencakup seluruh kasus yang mungkin terjadi sepanjang kapal (Ls) yang memberikan kontribusi pada nilai index A. Kasus ini bisa terjadi untuk satu kompartemen atau beberapa kompartemen yang saling berdekatan. Jika terdapat *wing compartement* maka perhitungan juga harus mengikutsertakan kompartemen ini. Kompartemen ini bias menjadi kasus *flooding* tersendiri dan juga bisa berupa gabungan dengan kompartemen di dalamnya.

Jika terdapat sekat memanjang maka kasus yang dihitung adalah kasus kebocoran pada salah satu sisi kapal yang mengakibatkan terjadinya olengan/*hell*. Jika terdapat sekat memanjang yang terletak tepat pada *centerline* maka sekat ini dianggap tidak pernah rusak. Penentuan kasus *flooding* lebih jelasnya seperti pada contoh 1 dan 2.

Contoh 1.

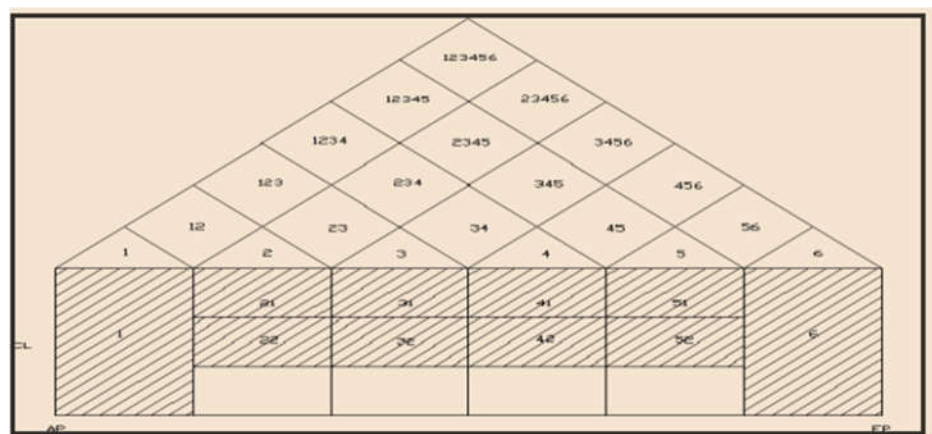
Sebuah kapal Ponton mempunyai 5 sekat melintang dan 1 sekat memanjang dengan sekat memanjang tepat pada *center line*. Segitiga dan angka-angka di atas menunjukkan kompartemen atau kelompok kompartemen yang dianggap bias mengalami kebocoran. Angka 1 berarti kompartemen 1 mengalami kebocoran, angka 345 berarti kompartemen 3, 4, dan 5 mengalami kebocoran, demikian seterusnya. Kompartemen yang bocor dan jumlahnya sesuai dengan letak segitiga dan nomornya. Jika dijumlah maka *pontoon* ini mempunyai 21 kemungkinan kompartemen bocor. Jadi subindex I akan bernilai $I = 1$ sampai $I = 21$ seperti dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.5. Segitiga Kebocoran pada kapal dengan 1 sekat memanjang

Contoh 2.

Kapal Ponton di berikut nya mempunyai sekat melintang dan 2 sekat memanjang dengan sekat memanjang tidak tepat pada *centerline*. Penentuan kasus kemungkinan kompartemen bocor sama dengan contoh 1 di atas, namun dilakukan sebanyak dua kali. Perbedaanannya adalah dalam menentukan kompartemen No.2. Pada perhitungan pertama digunakan kompartemen No. 21, 31, 41, 51 atau pada lebar kompartemen B1 . Sedangkan perhitungan kedua digunakan kompartemen (21-22),(31-32),(41-42), dan (51-52) atau pada lebar kompartemen B2. Karena sekat memanjang yang atas dianggap mengalami kerusakan dan air masuk ke kompartemen sebelah dalam sedangkan kompartemen 1 dan 2 perhitungan dilakukan hanya 1 kali karena keadaan kompartemen tetap (tidak ada tambahan kompartemen lain). Jadi, semakin banyak sekat memanjang maka perhitungan akan semakin banyak.



Gambar 2.6. Segitiga Kebocoran Kapal dengan 2 atau lebih sekat memanjang.

2.11 Perhitungan faktor Pi

Notasi- notasi yang akan digunakan dalam perhitungan ini adalah:

- x1: Jarak antara ujung belakang Ls dengan ujung belakang kompartemen yang mengalami kebocoran.
- x2: Jarak antara ujung belakang Ls dan ujung depan kompartemen yang mengalami kebocoran.

$$\begin{aligned}
E_1 &= \frac{x_1}{L_s} \\
E_2 &= \frac{x_2}{L_s} \\
E &= E_1 + E_2 - 1 \\
J &= E_2 - E_1 \\
J' &= J - E, \text{ if } E \geq 0 \\
J_{\max} &= \frac{4.8}{\alpha} \leq 0.24 \\
\alpha &= 1.2 + 0.8E, \quad \leq 1.2 \\
F &= 0.4 + 0.25 \times E \times (1.2 + \alpha) \\
y &= \frac{J}{J_{\max}} \\
p &= F_1 J_{\max} \\
q &= 0.4 F_2 (J_{\max})^2 \\
F_1 &= y^2 - \frac{y^3}{3}, \quad \text{if } y < 1, \\
F_1 &= y - \frac{1}{3} \quad \text{otherwise;} \\
F_2 &= \frac{y^3}{3} - \frac{y^4}{12}, \quad \text{if } y < 1, \\
F_2 &= \frac{y^2}{2} - \frac{y}{3} + \frac{1}{12} \quad \text{otherwise.}
\end{aligned}$$

Rumus 2.4 Rumus faktor Pi

Perhitungan Pi dilakukan sebagai berikut:

A. Besarnya faktor pi untuk *single compartement* adalah sebagai berikut:

1. Untuk kompartemen yang panjangnya adalah L_s , artinya kapal hanya memiliki satu kompartemen, tanpa adanya sekat melintang. $\pi = 1$
2. Untuk kompartemen di ujung belakang kapal (ujung belakang kompartemen merupakan ujung belakang L_s). $\pi = F + 0.5 \alpha p + q$
3. Untuk kompartemen di ujung depan kapal (ujung depan kompartemen adalah ujung depan L_s). $\pi = 1 - F + 0.5 \alpha p$
4. Kompartemen berada diantara ujung depan dan ujung belakang L_s .
 $\pi = \alpha p$.

Dalam mengimplementasikan 4 persamaan di atas, jika kompartemen yang dianggap dapat mengalami kebocoran panjangnya melewati titik tengah dari L_s , maka hasil perhitungan dikurangi dengan nilai dari q .

B. Besarnya faktor π untuk kelompok atau grup kompartemen ditentukan sebagai berikut:

- Untuk grup yang terdiri dari 2 kompartemen:

$$\pi = p_{12} - p_1 - p_2$$

$$\pi = p_{23} - p_2 - p_3, \text{ dan seterusnya.}$$

- Untuk grup yang terdiri dari 3 kompartemen:

$$\pi = p_{123} - p_{12} - p_{23} - p_2$$

$$\pi = p_{234} - p_{23} - p_{34} - p_3, \text{ dan seterusnya}$$

- Untuk grup yang terdiri dari 4 kompartemen:

$$\pi = p_{1234} - p_{123} - p_{234} - p_{23}$$

$$\pi = p_{2345} - p_{234} - p_{345} - p_{34}, \text{ dan seterusnya.}$$

Dengan:

p_{12} , p_{23} , p_{34} , dan seterusnya.

p_{123} , p_{234} , p_{345} , dan seterusnya.

p_{1234} , p_{2345} , p_{3456} , dan seterusnya.

Dihitung seperti *single compartement* dengan non *dimensional length*, J dihitung dengan panjang gabungan kompartemen-kompartemen tersebut. Faktor π untuk grup dari tiga atau lebih kompartemen nilainya = 0 jika nilai J grup tersebut dikurangi nilai J dari kompartemen ujung depan dan belakang di dalam grup itu lebih besar dari J_{\max} .

2.12 Perhitungan Faktor Si

Untuk masing-masing kompartemen dan grup kompartemen (i) nilai Si didapat dari persamaan berikut:

$S_i = \text{minimum } S_{\text{final},i}$

Dimana

$$s_{\text{final},i} = K \cdot \left[\frac{GZ_{\text{max}}}{0.12} \cdot \frac{\text{Range}}{16} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Rumus 2.5 Rumus faktor Si

GZ max adalah lengan pengembali (*righting arm*) positif yang paling besar pada kurva stabilitas statis, tetapi tidak boleh lebih besar dari 0.12 m. *Range* adalah jarak antara sudut list (θ) dan sudut tengelam dengan nilai tidak lebih besar dari 16° . Nilai $s_i = 0$ jika garis air akhir dengan *trim* dan *heel* yang terjadi telah menyentuh sisi atau sudut terendah dari lubang palka atau bukaan lain di geladak yang menyebabkan terjadinya *progressive flooding*.

$K = 1$ if $\theta_e \leq \theta_{\min}$

$K = 0$ if $\theta_e \geq \theta_{\max}$

$K = \sqrt{\frac{\theta_{\max} - \theta_e}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}}$ otherwise,

Dimana :

θ_{\min} adalah 25° dan θ_{\max} adalah 30° untuk kapal cargo

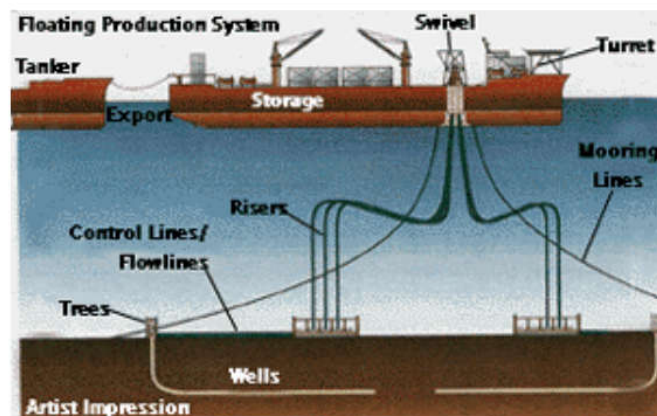
2.13 Permeability

Tabel 2.1 *Permeability*

<i>SPACE</i>	<i>PERMEABILITY</i>
1. Kompartemen untuk <i>store</i> /gudang	0.6
2. Ruang akomodasi	0.95
3. Ruang Mesin	0.85
4. Kompartemen muatan kering	0.7
5. Kargo diisi zat cair penuh	0
6. Itended for liquid	0 atau 0.95

2.14 Teori dan Pengertian FSO

Jika kita bicara tentang bangunan apung di laut sebagai tempat produksi maupun tempat penyimpanan minyak tentu tak lepas dari adanya *FPSO* dan *FSO*. Definisi dari *FPSO unit* adalah bangunan terapung yang digunakan oleh industri lepas pantai untuk pengolahan hidrokarbon dan untuk penyimpanan minyak. *FPSO* dirancang untuk menerima hidrokarbon yang dihasilkan dari *platform* terdekat atau *template* bawah laut, mengolahnya, dan menyimpan minyak sampai dapat diturunkan ke kapal tanker atau diangkut melalui saluran pipa. Penggunaan *FPSO* lebih disukai di area lepas pantai karena cara pemasangan *FPSO* yang lebih mudah dan tidak perlu infrastruktur pipa lokal untuk mengolah minyak. Unit lainnya, yaitu *FSO (Floating Storage and Offloading)* adalah gudang penyimpanan terapung dan *offloading* kapal yang hanya digunakan untuk menyimpan minyak tanpa mengolahnya.



Gambar 2.7 Floating Production System

FPSO dan *FSO* merupakan sebuah evolusi cepat di bidang *offshore* pada saat ini. Konsepnya digunakan untuk menangani masalah produksi dan penampungan minyak di perairan laut dalam. Seperti contohnya di pantai barat Afrika, Brazil maupun di Indonesia. Bahkan di ladang minyak pantai barat Afrika *FPSO* dan *FSO* khusus dibuat sesuai dengan kondisi lingkungan yang ekstrem di sana.

Dalam pengadaannya, kedua jenis bangunan ini bisa terbentuk karena modifikasi sebuah kapal tangki minyak (konversi) atau bisa dari kapal yang

sengaja dibangun khusus untuk kebutuhan tersebut sesuai dengan kondisi lingkungan dan finansial. Rancangan *FPSO/FSO* akan tergantung pada daerah operasi. Di perairan yang cenderung tenang *FPSO* mungkin memiliki bentuk kotak sederhana atau mungkin kapal tanker yang dikonversi. Umumnya *production line (riser)* yang terhubung ke komponen utama kapal (*turret*) memungkinkan kapal untuk berputar untuk mengurangi efek beban lingkungan pada sistem *mooring*. Di perairan yang relatif tenang, seperti di Afrika bagian barat, *turret* dapat ditemukan di luar bagian struktur kapal terletak menggantung di haluan *FPSO/FSO*. Untuk lingkungan yang lebih keras seperti Laut Utara, menara *turret* umumnya berada di bagian dalam struktur kapal. *Turret* dan sistem *mooring* dapat dirancang untuk menjadi *disconnectable* atau tetap secara permanen ditambatkan. Kebanyakan kapal berbentuk *FPSO/FSO* di Laut Utara adalah bangunan baru dan secara permanen ditambatkan.

Sebuah *FPSO* memiliki kemampuan untuk melakukan beberapa proses pemisahan. Proses di *FPSO* adalah komponen inti pada fasilitas dan membentuk bagian penting dari proses produksi. Produksi biasanya dilakukan dalam 3 tahap yaitu pemisahan gas, pemisahan air, dan pemisahan minyak. Jika unit hanya memiliki fasilitas pemisahan air umumnya disebut sebagai *Floating Storage and Unit Pembongkaran (FSO)*. *FSO* dioperasikan dengan fungsi sebagai pendamping *platform* produksi.

FSO adalah perangkat penyimpanan terapung yang merupakan bentuk sederhana *FPSO* tanpa kemampuan untuk pengolahan minyak ataupun gas. *FSO* kebanyakan merupakan *super tanker* dengan lambung tunggal tua yang telah dikonversi. Contohnya adalah *Knock Nevis*, mantan *Giant Seawise* adalah kapal yang dulunya merupakan kapal terpanjang di dunia. Kini telah dikonversi menjadi *FSO* untuk digunakan di lepas pantai Qatar. Sistem *mooring* untuk unit *FSO* dan *FPSO* yang tersedia di pasar juga memungkinkan kapal untuk berlabuh di lapisan es. Lempengan es dapat digunakan sebagai tempatambat, hal ini memungkinkan *FSO* dan *FPSO* untuk bertambat di lokasi lempengan es yang berada dibawah air sekalipun.



Gambar 2.8 FPSO Anoa Natuna

2.15 Software Maxsurf

Maxsurf adalah serangkaian *software* berbasis NURBS (*Non-Uniform, Rational B-spline Surface*) perusahaan *software* Bentley Engineering yang dapat digunakan untuk membantu proses desain kapal. Di dalam rangkaian *software maxsurf* terdapat beberapa *software* diantaranya adalah :

1. *Maxsurf Modeller* yang digunakan membuat desain 3D kapal serta analisa hidrostatik sederhana.
2. *Maxsurf Stability* yang digunakan untuk permodelan tangki-tangki dan kompartemen pada kapal, serta dapat digunakan untuk analisa stabilitas kapal baik secara statis dan dinamis serta dalam kondisi *Intact* maupun *damage*.
3. *Maxsurf Resistance* untuk melakukan analisa hambatan kapal
4. *Maxsurf Motion* untuk melakukan analisa olah gerak kapal secara dinamis.
5. *Maxsurf Structure* untuk menganalisa kekuatan kapal.

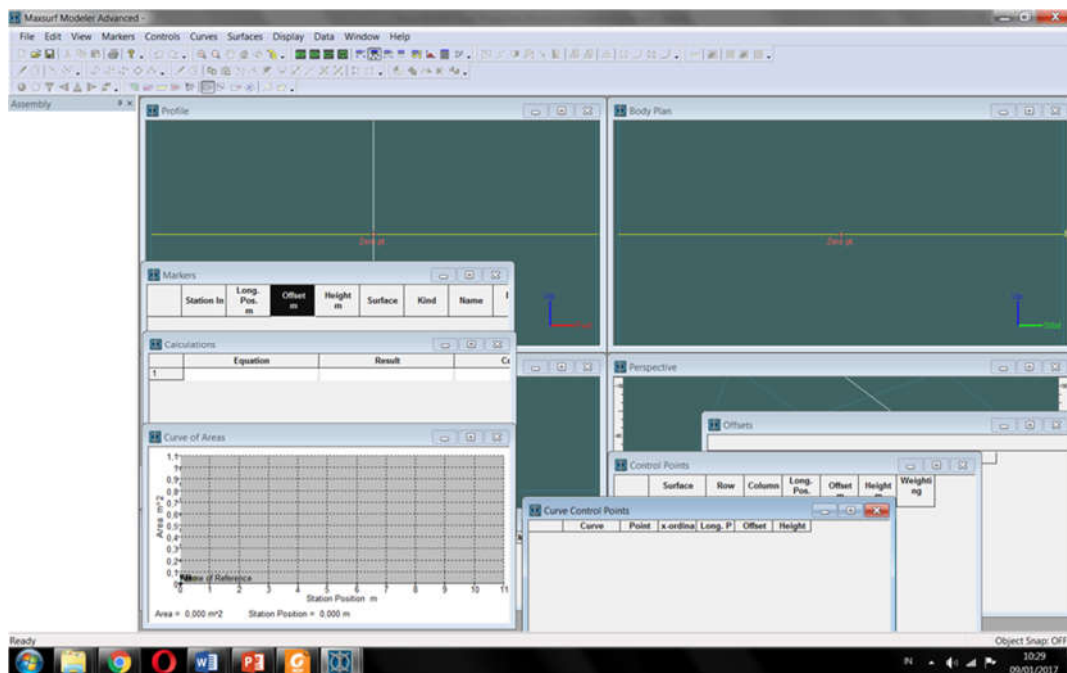
Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan *Maxsurf Modeller* untuk pembuatan model 3D serta *Maxsurf Stability* untuk analisa Stabilitas nya.

2.15.1 *Maxsurf Modeller*

Maxsurf Modeller sendiri lebih menitikberatkan desain kapal dan pembuatan lines plan dalam bentuk 3D, yang dapat memperlihatkan potongan *station*, *buttock*, *shear* dan 3D-nya pada pandangan depan, atas, samping dan perspektif. Selain digunakan untuk membuat *lines*

plan kapal juga dapat digunakan untuk membuat bentuk 3D-lain seperti: pesawat, mobil dan produk industri lainnya. Dasar pembuatan modelnya adalah *Surface* yang merupakan bidang permukaan dan dapat dibuat menjadi berbagai bentuk model 3D dengan jalan menambah, mengurangi, dan merubah kedudukan control point. Pembuatan lines plan ini adalah merupakan bagian yang paling penting, karena menggambarkan karekteristik kapal yang akan dibuat, sehingga bagian ini harus dikuasai dengan baik.

Maxsurf Modeller merupakan *software* pemodelan lambung kapal yang berbasis *surface*. Pemodelan lambung kapal di *Maxsurf Modeller* terbagi atas beberapa *surface* yang digabung (*bounding*). *Surface* pada *Maxsurf Profesional* didenifisikan sebagai kumpulan control point yang membentuk jaring – jaring *control point*. Dalam memperoleh *surface* yang diinginkan maka *control point* digeser – geser terhadap sumbu X, Y, dan Z nya sampai mencapai bentuk yang optimum. Pusat proses pemodelan desain rencana garis menggunakan *Maxsurf* adalah pengertian bagaimana *control point* digunakan untuk mencapai bentuk *surface* yang ingin dicapai.



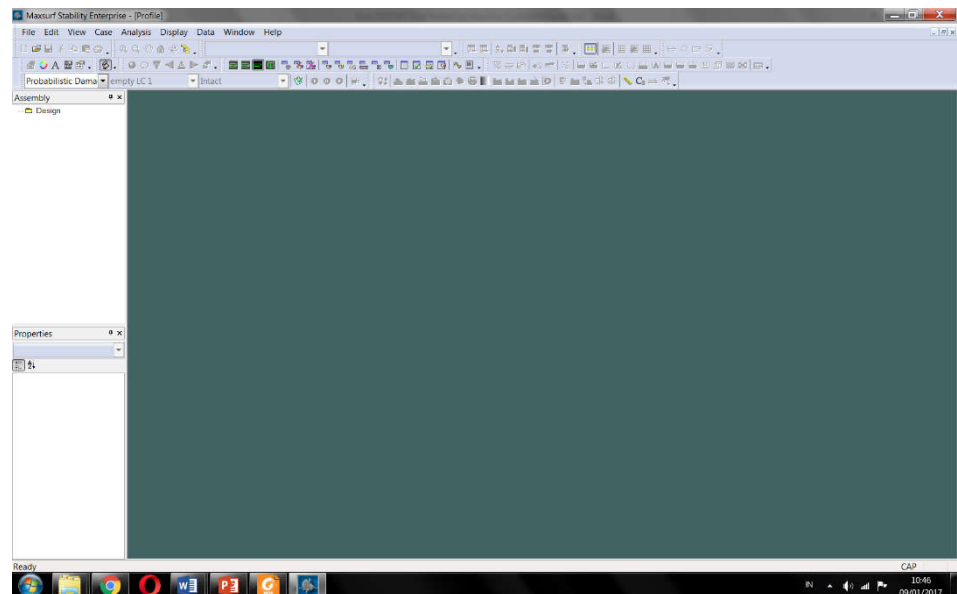
Gambar 2.9. Tampilan *Software Maxsurf Modeller*

2.15.2 *Maxsurf Stability*

Maxsurf Stability adalah rangkaian *software maxsurf* yang berfungsi melakukan analisa stabilitas kapal yang didalam nya juga sudah terdapat kriteria-kriteria perhitungan stabilitas dari beberapa organisasi sehingga hasil analisa dapat langsung diketahui apakah memenuhi yang ada atau tidak. Pada *software* ini juga dapat dilakukan permodelan tangki-tangki dan kompartemen pada kapal serta dapat pula memodelkan *Loadcase* untuk tangki-tangki tersebut.

Maxsurf Stability ini memiliki beberapa hal yang dapat di analisis diantaranya adalah :

1. *Large Angle Stability*
2. *Hydrostatic Calculation*
3. *KN value*
4. *Equilibrium*
5. *Tank Calibration*
6. *Limiting KG*
7. *Probabilistic Damage Stability*



Gambar 2.10. Tampilan *Software Maxsurf Stability*

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 3

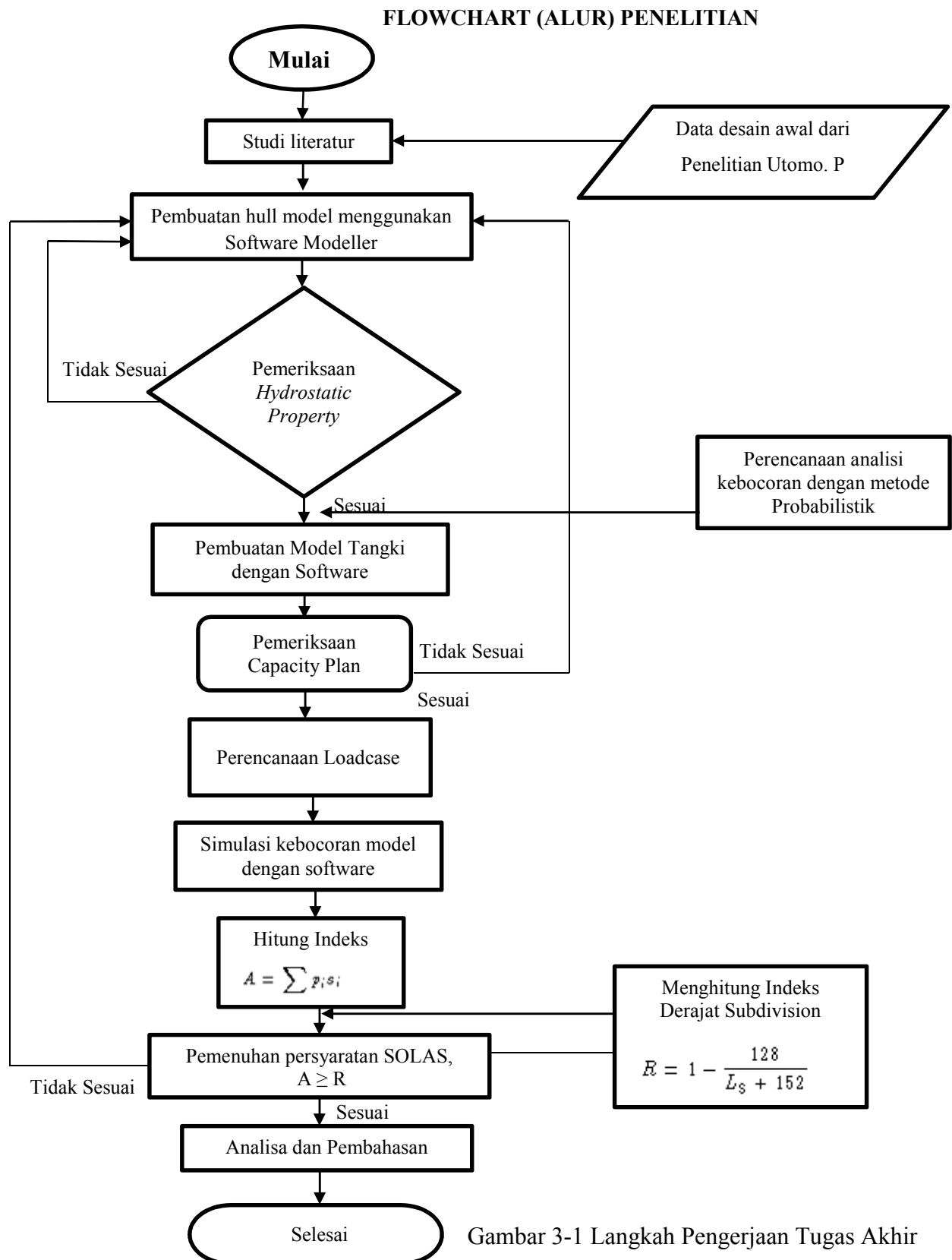
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai bagaimana cara mencapai tujuan Tugas Akhir ini. Dimulai dari bagaimana cara pengumpulan data, penggunaan *input data*, pembuatan rencana dan penjadwalan, pembuatan gambar, pemodelan menggunakan *software Modeller*, poin-poin *decision*, serta metode analisis menggunakan *software Stability*. Di samping itu juga terdapat langkah-langkah pengerjaan yang memberikan gambaran umum mengenai bagaimana Tugas Akhir ini dibuat berdasarkan proses desain.

3.2 Langkah-Langkah Pengerjaan

Metodologi yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*) pengerjaan sebagai berikut:



Gambar 3-1 Langkah Pengerjaan Tugas Akhir

Perhitungan *damage* sesuai dengan peraturan SOLAS *Chapter II-1 Part B-1* tentang *Subdivision and damage stability of cargo ships*. Perhitungan *damage* dihitung dengan menggunakan pendekatan probabilistik. Pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan beberapa tahap pengerjaan mulai dari yang pertama adalah studi literatur dengan mengumpulkan data-data kapal dan aturan-aturan yang mengatur *damage stability*. Selanjutnya adalah proses pembuatan model kapal berdasarkan *linesplan* yang sudah didapatkan dari penelitian sebelumnya. Dengan mengacu pada data rencana umum langkah selanjutnya adalah memodelkan tangki-tangki kapal pada *Maxsurf Stability*. Setelah model selesai dibuat kemudian dicocokkan ukuran utama kapal dan volume tangki-tangki kapal. Setelah proses pemeriksaan mengalami kesesuaian maka selanjutnya melakukan simulasi kebocoran pada model. Setiap satu simulasi kebocoran dihitung nilai indeks π_i dan s_i dan nilai A yang didapat dari $A = \sum \pi_i s_i$ pada kondisi *full load* dan *partial load*. Kemudian menghitung R nilai *requirement* yang disyaratkan SOLAS *Chapter II-1 Part B-1* dan membandingkan nilai indeks A dan nilai R . Jika nilai $A \geq R$, maka perhitungan kapal telah memenuhi ketentuan SOLAS. Dan yang terakhir adalah analisa dan pembahasan.

3.3 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian dan pembelajaran mengenai bahan literatur yang berhubungan dengan permasalahan. Literatur yang diperlukan yaitu tentang peraturan *damage stability* yang disyaratkan oleh SOLAS *consolidated edition 2009 chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and damage stability of cargo ships*, serta aturan-aturan mengenai panjang kebocoran yang diatur dalam Annex I of MARPOL 73/78 *Regulations for the Prevention of Pollution by Oil chapter 4 part A regulation 24* dan 28.

Selain itu yang perlu dilakukan juga yaitu mempelajari tentang perhitungan pemenuhan *damage* dengan *Watson methode* yang ada pada buku *Principle of Naval Architect* dan mempelajari *software Maxsurf* yang akan digunakan untuk membuat model kapal beserta kompartemen-kompartemen di dalamnya secara 3 dimensi serta mengadakan simulasi kebocoran. Studi literatur dilakukan dengan menggunakan buku-buku literatur dan *browsing internet*.

3.4 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data desain awal *Floating Storage and Offloading* yaitu :

1. Gambar *LinesPlan* desain awal FSO
2. Gambar *Tank Arrangement* desain awal FSO
3. Hasil perhitungan pembebanan desain awal FSO

Selain 3 hal di atas diperlukan data ukuran utama, jumlah *crew*, dan perhitungan berat dan titik berat kapal. Data yang lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data *Loadcase* dari desain awal *Floating Storage and Offloading* yang ditempatkan di lapangan minyak Kakap di sekitar Laut Natuna serta .

3.5 Penggunaan Input Data

Setelah semua data diperoleh langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut sehingga menghasilkan desain yang memenuhi *design requirements*. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Langkah awal dalam mengerjakan Tugas Akhir ini adalah menentukan permasalahan yang sedang terjadi di desain awal FSO lapangan minyak Kakap di Laut Natuna. Pada desain awal FSO tersebut belum dilakukan analisa *damage stability* nya, sehingga dibuatnya analisa *damage stability* ini akan memberikan kontribusi nyata di kasus tersebut.

2. Ukuran Utama *Pre - Design Floating Storage and Offloading*.

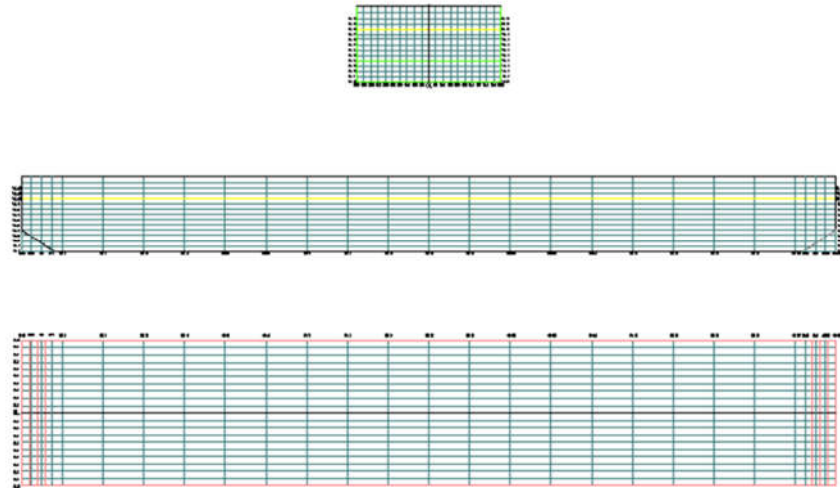
Ukuran Utama dari *pre – design* FSO yang akan dilakukan pengujian dan analisa *damage stability* nya adalah sebagai berikut:

Jenis	: <i>Floating Storage and Offloading</i>
<i>Length per Pendicular</i>	: 215,20 m
<i>Moulded Breadth</i>	: 41,60 m
<i>Moulded Depth</i>	: 23,20 m
<i>Design Draught</i>	: 14,86 m
<i>Dead Weight</i>	: 142093 Ton

3. *Lines Plan dan Tank Arrangement* dari desain awal FSO

A. *Lines Plan*

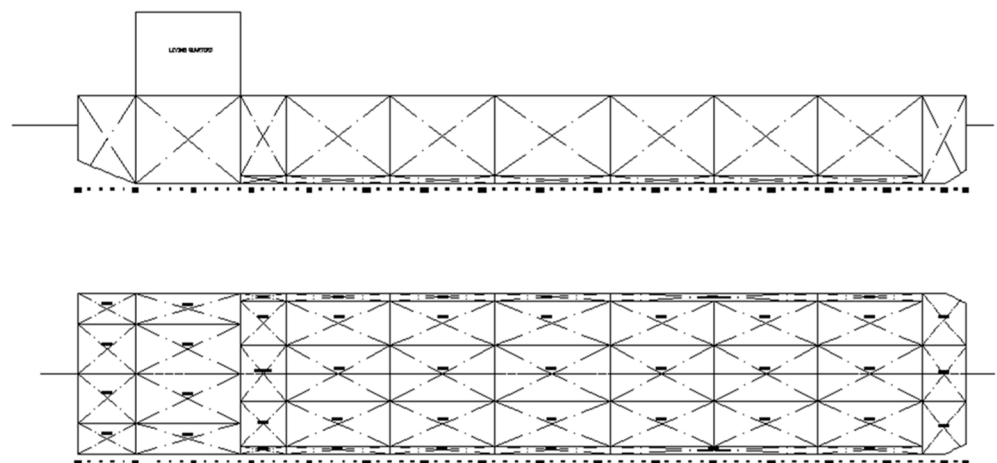
Lines Plan dari desain awal FSO diperlukan untuk melakukan permodelan 3D pada software Maxsurf Modeller agar bentuk dari model yang akan dibuat tidak berbeda dengan bentuk desain asli nya



Gambar 3.2. *Lines Plan* desain awal FSO

B. *Tank Arrangement*

Tank Arrangement diperlukan untuk melakukan Permodelan Tangki-Tangki dan kompartmen pada *Maxsurf Stability* untuk dapat dilakukan analisa *damage stability* nya



Gambar 3.3. Tank Arrangement desain awal FSO

C. Perhitungan berat dan pembebanan pada kapal

Pembuatan Loadcase pada kapal ini memerlukan data-data perhitungan berat dan pembebanan kapal. Maka dari itu data-data berat dan titik berat dari tiap-tiap aspek penting pada kapal seperti badan kapal, kru-kru kapal dan alat-alat permesinannya.

3.6 Perencanaan dan Penjadwalan

Sebagaimana penelitian yang sistematis, Tugas Akhir ini memiliki perencanaan jadwal kerja berdasarkan fungsi hasil terhadap waktu. Berikut ini adalah perencanaan dan penjadwalan Tugas Akhir ini.

Tabel 3.1. Perencanaan dan Penjadwalan Tugas Akhir

Rencana Kegiatan	BULAN															
	September				Oktober				Nopember				Desember			
	Minggu				Minggu				Minggu				Minggu			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Pengecekan data awal																
Pemodelan Barge Hull menggunakan CAD																
Perencanaan Kondisi Load Case																
Analisis teori Damage Stability Menggunakan Software																
Penulisan Laporan Tugas Akhir																

3.7 Pembuatan Model FSO pada Maxsurf Modeller

Untuk dapat membuat simulasi kebocoran dari desain awal FSO ini maka pertama-tama dibutuhkan model kulit terluar dari desain awal FSO ini.

Dikarenakan data dari *Lines Plan* dan *Tank Arrangement* yang di dapatkan telah berbentuk *softcopy* sehingga dapat langsung digunakan sebagai input permodelan kulit terluar dari *Lines Plan* desain awal FSO pada *software Maxsurf Modeller*.

3.8 Pemeriksaan ukuran pada data model dan pada ukuran sebenarnya

Pada tahap ini dilakukan pengecekan ukuran-ukuran model yang telah dibuat dengan data kapal yang telah diperoleh. Pengecekan yang dilakukan adalah pengecekan ukuran utama kapal yang meliputi pengecekan *displacement*

kapal, pengecekan *coefisien block*, pengecekan panjang, lebar, dan tinggi kapal serta pengecekan panjang LWL kapal. Apabila ukuran model tersebut tidak sesuai dan melenceng terlalu jauh dari ukuran data kapal yang sebenarnya maka akan dilakukan perbaikan pada model di Maxsurf. Toleransi selisih antara model kapal dan data yang sebenarnya adalah kurang dari 5%.

3.9 Permodelan Tangki-tangki dan Kompartemen dengan *Software Maxsurf Stability*

Setelah model kulit sudah jadi, langkah selanjutnya adalah membuat tangki-tangki dan kompartemen yang ada di dalam kapal. Pembuatan tangki - tangki dalam kapal dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf Stability. Letak dan koordinat titik tangki mengacu pada *Tank Arrangement* desain awal FSO.

3.10 Pengecekan kapasitas tangki-tangki pada model

Pada tahap ini dilakukan pengecekan tangki-tangki yang nantinya akan disesuaikan dengan kondisi pembebanan desain awal FSO yang telah dilakukan sebelumnya untuk pembuatan *Loadcase* di tahap berikutnya.

3.11 Pembuatan Loadcase

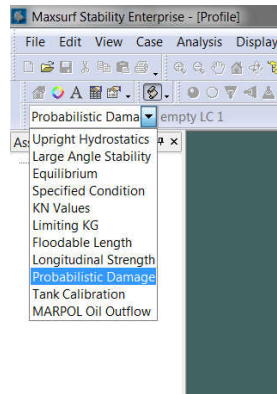
Pada tahap ini setelah dilakukan pengecekan kapasitas tangki-tangki maka dilakukan pemuatan tangki-tangki sesuai dengan rencana pemuatan dari data pembebanan desain awal FSO yang sudah ada.

Besar persentase isi dari tangki-tangki tersebut disesuaikan dengan data muatan yang ada dalam Perhitungan pembebanan dari penelitian sebelumnya. Kemudian dihitung *displacement* kapal pada kondisi tersebut. *Displacement* kapal yang diperoleh kemudian ditambah dengan berat dari *crew* dan barang-barang yang ada di kapal. Hasil total penambahan kembali dicocokkan dengan data kapal sesungguhnya. Apabila total *displacement* pada model sudah sama atau mendekati dengan data kapal yang sebenarnya, maka model kapal telah sesuai dan sudah dapat dilakukan simulasi pembocoran. Toleransi selisih antara total *displacement* pada model kapal dan kapal yang sebenarnya adalah kurang dari 2%

3.12 Simulasi kebocoran pada model

Langkah –langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah :

1. Melakukan input data di software Maxsurf Stability pada menu Probabilistic Damage Stability.



Gambar 3.4. Menu *probabilistic damage* pada *software Maxsurf Stability*

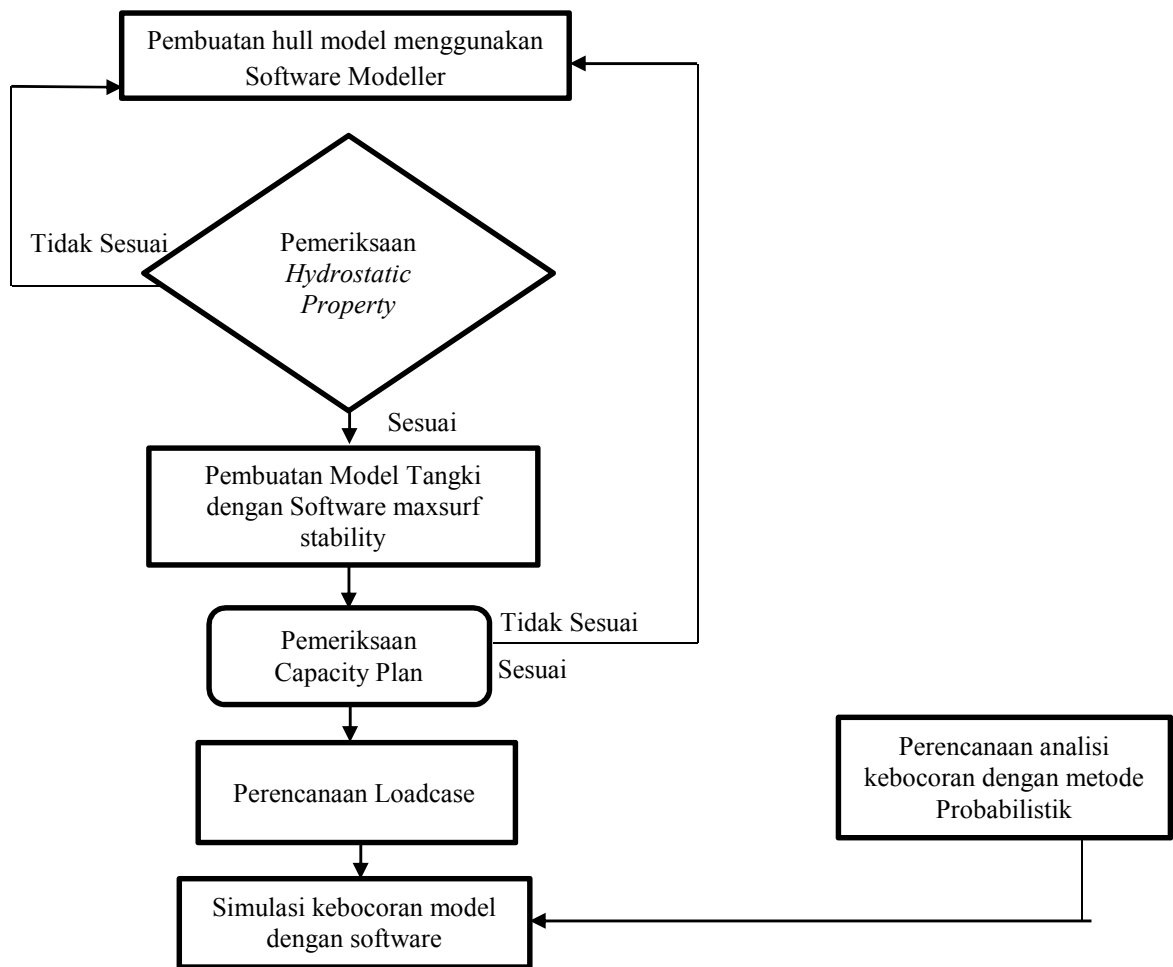
2. Diantaranya adalah loadcase yang digunakan untuk *Deepest subdivision draft*, *Partial subdivision draft*, dan *Lighthouse draft*.
3. Menentukan posisi Zona kebocoran pada software Maxsurf Stability.
4. Masukkan posisi Longitudinal Bulkhead dan Deck pada software Maxsurf Stability.
5. Menentukan kemungkinan tangki yang bocor sesuai Annex I of MARPOL 73/78 *Regulations for the Prevention of Pollution by Oil chapter 4 part A regulation 24* dan 28.

6. Masukan Permeability untuk tiap-tiap tangki dan kompartemen.

	Name	Type	Deepest subdivision draft Perm. %	Partial subdivision draft Perm. %	Light service draft Perm. %
1	F.P.T.P	Tank	95	95	95
2	F.P.T.C	Tank	95	95	95
3	F.P.T.S	Tank	95	95	95
4	W.B.T.P 1	Tank	95	95	95
5	C.O.T.P 1	Tank	70	80	90
6	D.B.P 1	Tank	95	95	95
7	C.O.T.C 1	Tank	70	80	90
8	D.B.C 1	Tank	95	95	95
9	C.O.T.S 1	Tank	70	80	90
10	D.B.S 1	Tank	95	95	95
11	W.B.T.S 1	Tank	95	95	95
12	W.B.T.P 2	Tank	95	95	95
13	C.O.T.P 2	Tank	70	80	90
14	D.B.P 2	Tank	95	95	95
15	C.O.T.C 2	Tank	70	80	90
16	D.B.C 2	Tank	95	95	95
17	C.O.T.S 2	Tank	70	80	90
18	D.B.S 2	Tank	95	95	95
19	W.B.T.S 2	Tank	95	95	95
20	W.B.T.P 3	Tank	95	95	95
21	C.O.T.P 3	Tank	70	80	90
22	D.B.P 3	Tank	95	95	95
23	C.O.T.C 3	Tank	70	80	90
24	D.B.C 3	Tank	95	95	95
25	C.O.T.S 3	Tank	70	80	90
26	D.B.S 3	Tank	95	95	95

Gambar 3.5. Input permeability software Maxsurf Stability

7. Lakukan Analisa perhitungan damage stability.



Gambar 3.6. Diagram alur dari pembuatan model hingga tahap simulasi kebocoran

3.13 Analisa dan pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Apabila nilai indeks A lebih dari atau sama dengan indeks derajat subdivision R, maka perhitungan *damage stability* pada desain awal FSO ini telah memenuhi persyaratan SOLAS. Selain itu juga perlu dianalisa seberapa besar dampak kebocoran yang ditimbulkan jika terdapat satu atau lebih kompartemen mengalami kebocoran. Di samping itu juga dianalisa kompartemen mana saja yang dapat bertahan jika kompartemen lainnya terjadi kebocoran.



BAB 4

PERMODELAN DAN PERHITUNGAN DAMAGE STABILITY

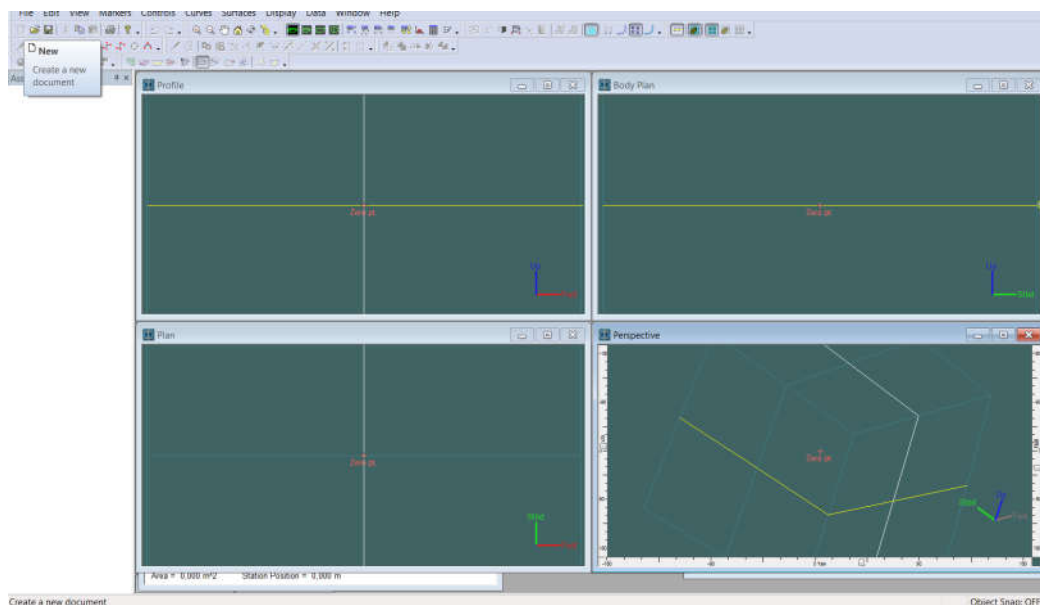
4.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan proses permodelan *hull Floating Storage and Offloading (FSO)* mulai dari pembuatan model kulit terluar dengan software Maxsurf Modeller serta Permodelan Tangki-Tangki pada Maxsurf Stability untuk dianalisa damage stability nya apakah desain awal FSO ini dapat memenuhi *SOLAS 2009 Consolidated Edition Chapter II-1 part B-1 Tentang Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship*.

4.2 Membuat Model Kulit Kapal dengan Maxsurf Modeller

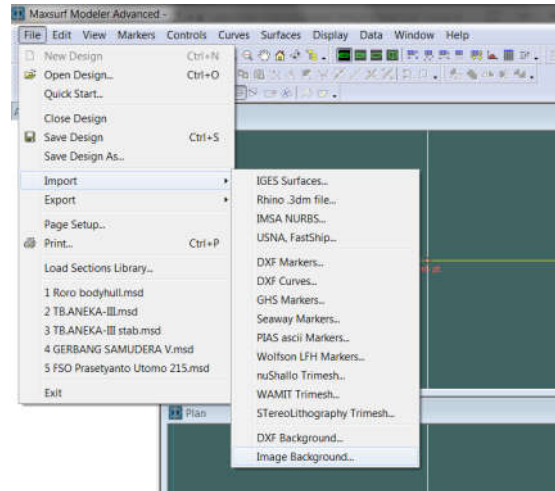
Untuk membuat model pada Maxsurf, sebagai inputnya dibutuhkan *lines plan* serta ukuran-ukuran utama kapal. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *modelling* kulit adalah:

1. Membuka program Maxsurf terlebih dahulu. Cara menjalankan program Maxsurf dari komputer adalah dengan klik *icon* Maxsurf dari *desktop* atau dengan cara **Start > Program > Bentley Engineering > Maxsurf Modeller**. Setelah mengaktifkan program Maxsurf Modeller tersebut, maka akan muncul tampilan grafis dari Maxsurf pro sebagai berikut:



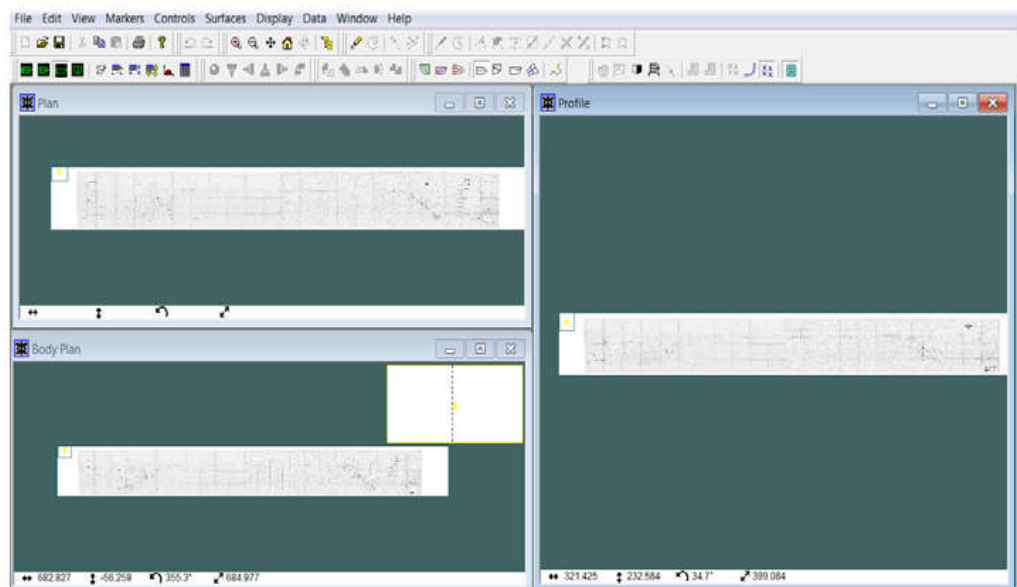
Gambar 4.1. Tampilan grafis dari *Maxsurf Modeller Advanced*

2. Langkah selanjutnya adalah membuat desain baru dengan perintah *File > New Design* atau dengan menekan tombol *CTRL+N*. Kemudian mengimpor gambar *linesplan* kapal ke dalam Maxsurf. Perintah yang dilakukan *File > Import > image background*



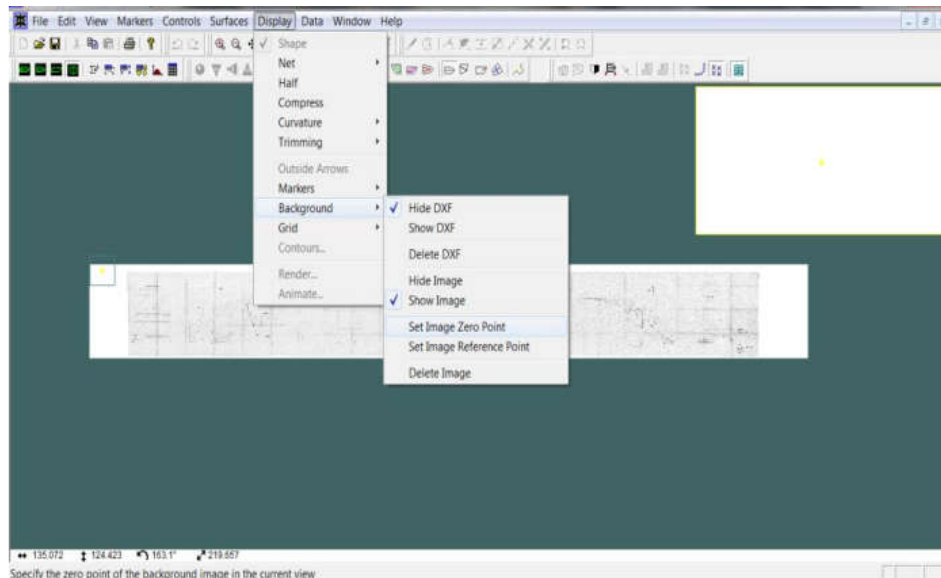
Gambar 4.2. *Import Background pada Maxsurf Modeller Advanced*

3. Setelah melakukan perintah di atas, maka selanjutnya akan muncul *background* pada Maxsurf. Ulangi perintah di atas satu persatu pada pandangan *Bodyplan*, *Profile*, dan *Plan*.



Gambar 4.3. *Image Background tiap pandangan*

4. Langkah berikutnya adalah penskalaan *image background* dengan menggunakan tool set *image zero points* dan berikutnya adalah set *image reference points* masing-masing untuk setiap pandangan (*Bodyplan*, *Profile*, dan *Plan*)

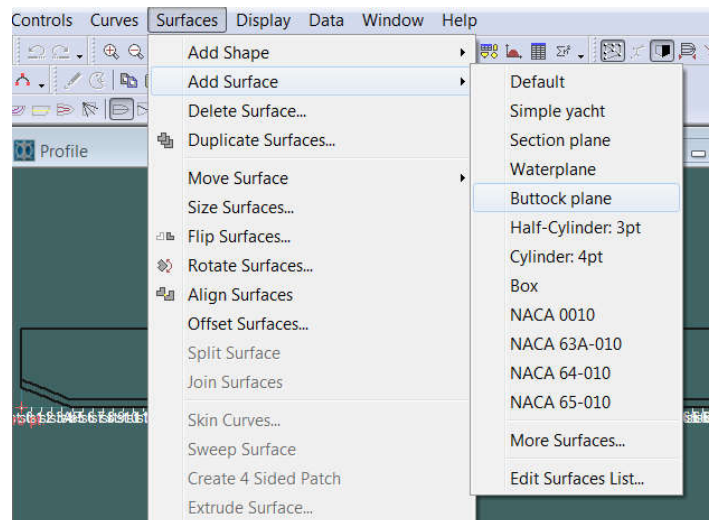


Gambar 4.4. *Image Background* tiap pandangan


5. Untuk membuat bentuk kapal pada maxsurf digunakan surface, dalam kasus pembuatan kapal ini digunakan 5 *surface* meliputi :

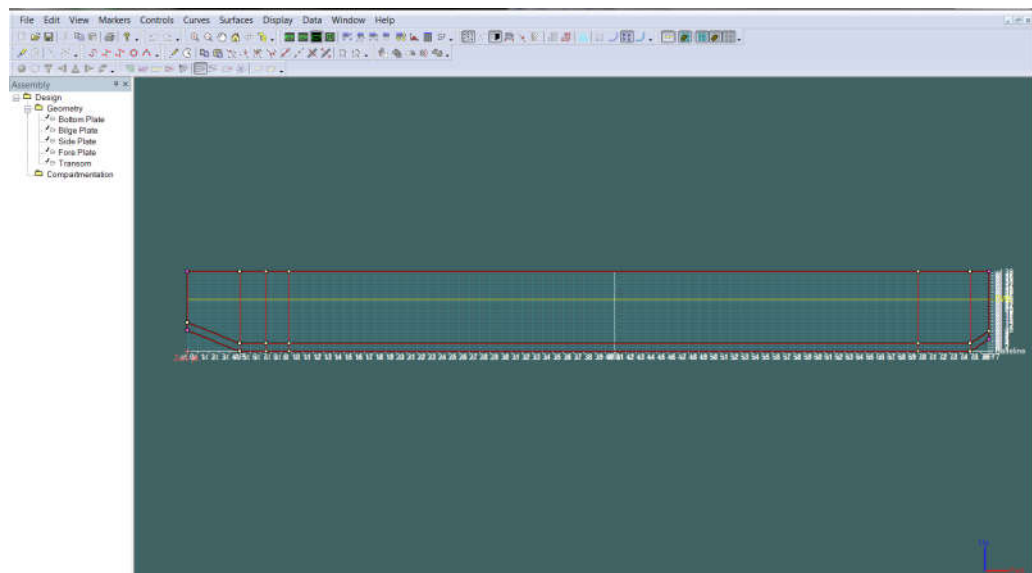
- Bagian bawah kapal diberi nama *Bottom Plate*
- Bagian sisi kapal diberi nama *Side Plate*
- Bagian Bilga kapal diberi nama *Bilge Plate*
- Bagian depan kapal diberi nama *Fore Plate*
- Bagian Belakang kapal diberi nama *Transom*

Setiap bagian kapal dibuat dengan menggunakan satu *surface*. Untuk memunculkan *surface* maka pada program Maxsurf dilakukan perintah dengan cara klik *Surface > Add Surface > Buttock Plane*.

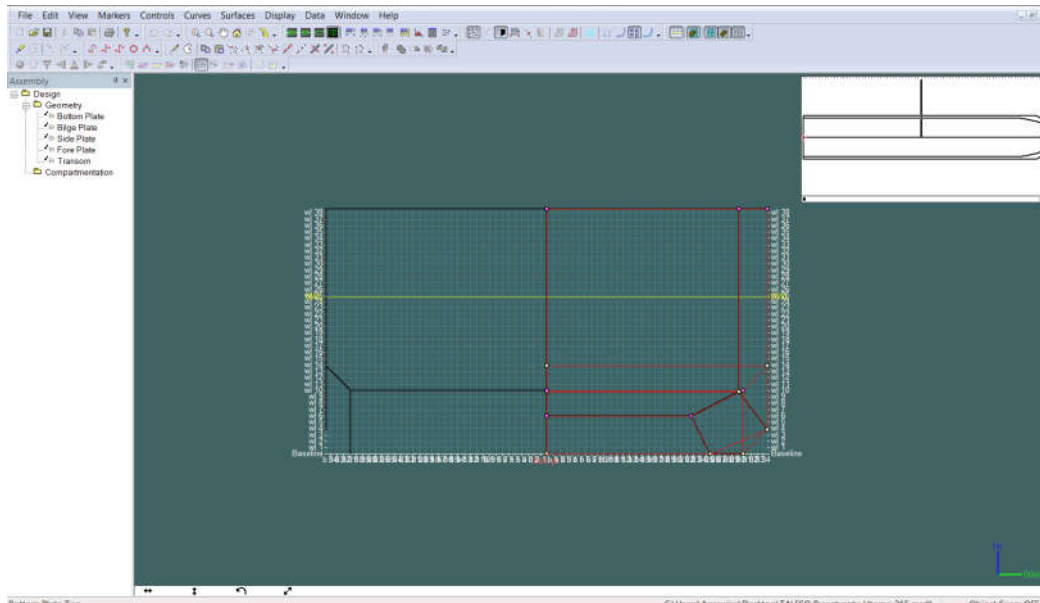


Gambar 4.5. *add Surface* pada Maxsurf

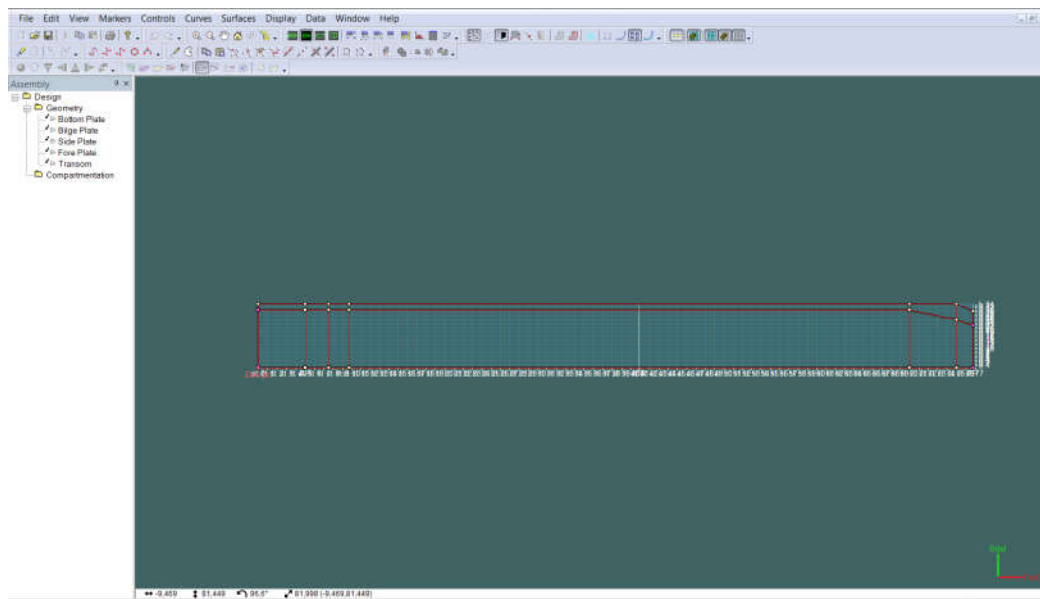
Untuk memudahkan pembentukan *surface* agar sesuai dengan *lines plan* maka perlu ditambahkan *control point*. Menambah *control point* pada *surface* dilakukan dengan perintah *add control point* atau dengan klik . Kemudian dilakukan penggeseran/merubah kedudukan *control point* untuk menyesuaikan bentuk *surface* dengan garis-garis pada *background linesplan* dan hal tersebut dilakukan untuk setiap pandangan (*Bodyplan*, *Profile*, dan *Plan*).



Gambar 4.6. *Profil View*

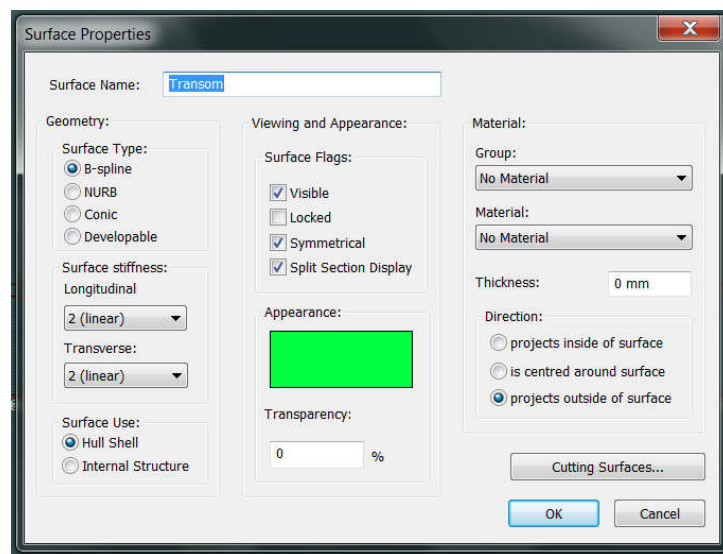


Gambar 4.7. *Body Plan View*



Gambar 4.8. *Plan View*

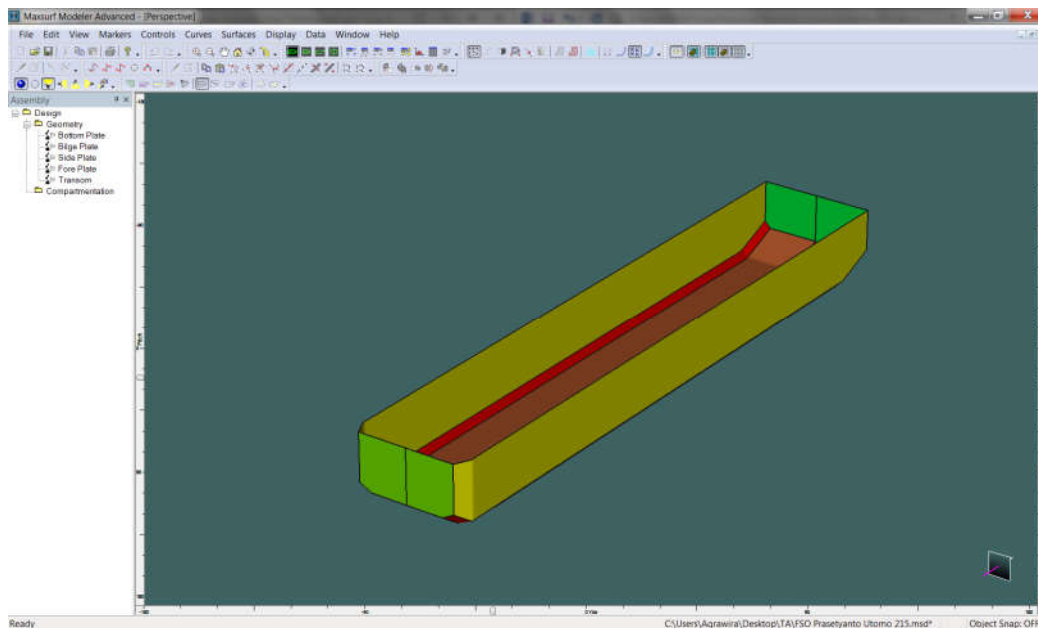
Untuk mempermudah penyesuaian model kapal, maka dapat digunakan tingkat fleksibilitas dari *surface* yaitu dengan menggantinya pada table *surface properties*. Di dalam tabel *surface properties* terdapat *surface type*, *surface stiffness*, tampilan warna *surface*, kolom nama *surface*, dan lain lain. Berikut ini adalah contoh tabel *surface properties* yang ada di dalam Maxsurf Modeller:



Gambar 4.9. *Surface Properties*

Pada sambungan antara blok-blok digunakan perintah *Bond edges*. Tool ini digunakan untuk menyatukan *surface* yang satu dengan yang lain dengan syarat bahwa *surface stiffness* dan jumlah *control point* masing-masing *surface* adalah sama. Metode tersebut dilakukan untuk setiap blok-blok yang direncanakan.

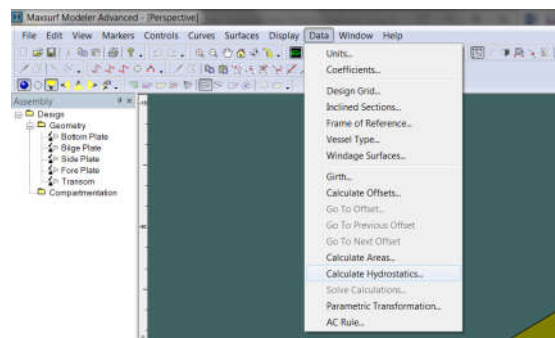
Setelah semua bagian model kapal telah selesai dibuat, maka akan didapatkan sebuah model kapal seperti:



Gambar 4.10. Model kapal desain awal FSO

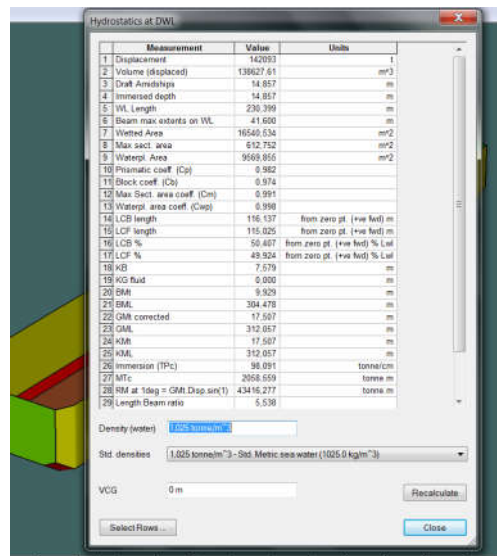
4.3 Pemeriksaan ukuran pada data model dan pada ukuran sebenarnya

Setelah model kapal telah selesai, langkah selanjutnya adalah memeriksa kecocokan model dalam segi ukuran utama kapal dan karakteristik kapal yang lainnya. Hal-hal yang diperiksa antara lain *displacement* kapal, pemeriksaan *coefisien block*, pemeriksaan panjang, lebar, dan tinggi kapal serta pemeriksaan panjang LWL kapal. Untuk mengetahui nilai ukuran utama model kapal dan karakteristik lainnya pada Maxsurf adalah dengan cara klik Data > *Calculate Hydrostatic*.



Gambar 4.11. Cek data *Calculate Hydrostatic*

Selanjutnya akan muncul tabel data ukuran utama model dan karakteristik lainnya yang dapat dilihat pada:



Measurement	Value	Units
1 Displacement	142093	t
2 Volume (displaced)	138627.61	m ³
3 Draft Amidships	14.857	m
4 Immersed depth	14.857	m
5 WL Length	230.399	m
6 Beam max extents on WL	41.600	m
7 Wetted Area	16540.534	m ²
8 Max sect. area	612.752	m ²
9 Waterpl. Area	9569.855	m ²
10 Prismatic coeff. (Cp)	0.982	
11 Block coeff. (Cb)	0.974	
12 Max Sect. area coeff. (Cm)	0.991	
13 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.998	
14 LCB length	116.137	from zero pt. (+ve fwd) m
15 LCF length	115.025	from zero pt. (+ve fwd) m
16 LCB %	50.407	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17 LCF %	49.924	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18 KB	7.579	m
19 KG fluid	0.000	m
20 BM	9.929	m
21 BML	304.478	m
22 GMt corrected	17.507	m
23 GML	312.057	m
24 KML	17.507	m
25 KML	312.057	m
26 Immersion (TPc)	98.091	tonne/cm
27 MTc	2058.559	tonne.m
28 RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	43416.277	tonne.m
29 Length:Beam ratio	5.538	

Density (water): 1025 tonne/m³
Std. densities: 1.025 tonne/m³ - Std. Metric sea water (1025.0 kg/m³)
VCG: 0 m
Buttons: Select Rows, Recalculate, Close

Gambar 4.12. Hasil kalkulasi Hidrostatik pada model

Tabel 4.1. Hasil kalkulasi Hidrostatik pada model

Measurement	Value	unit
Displacement	142093	t
Volume (displaced)	138627,611	m ³
Draft Amidships	14,857	m
Immersed depth	14,857	m
WL Length	230,399	m
Beam max extents on WL	41,6	m
Wetted Area	16540,534	m ²
Max sect. area	612,752	m ²
Waterpl. Area	9569,855	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,982	
Block coeff. (Cb)	0,974	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,991	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,998	
LCB length	116,137	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	115,025	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	50,407	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	49,924	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	7,579	m
KG fluid	0	m
BMt	9,929	m
BML	304,478	m
GMt corrected	17,507	m
GML	312,057	m
KMt	17,507	m
KML	312,057	m
Immersion (TPc)	98,091	tonne/cm
MTc	2058,559	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	43416,277	tonne.m
Length:Beam ratio	5,538	

Setelah mengetahui ukuran-ukuran pada model, maka selanjutnya dibandingkan dengan ukuran kapal yang sebenarnya. Prosentase selisih antara ukuran model dengan ukuran kapal sebenarnya disajikan dalam bentuk tabel:

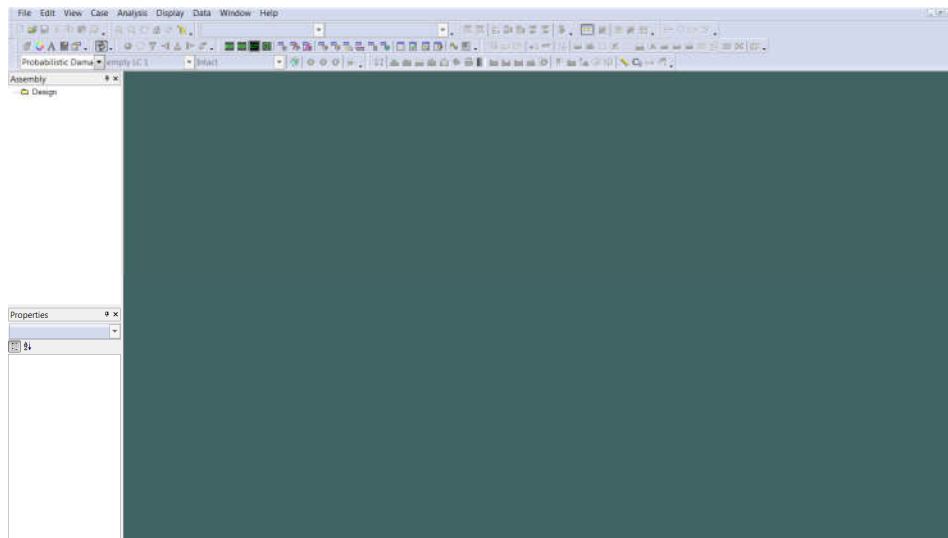
Tabel 4.2. Perbandingan hasil kalkulasi Hidrostatik

Measurement	Perhitungan Software	Perhitungan manual	Selisih	Prosentase
Displacement	142093	141935,6	157,386	0,111%
Lwl	215,2	215,2	0,000	0,000%
Breath	41,6	41,6	0,000	0,000%
Cb	0,973	0,973	0,000	0,000%
Cm	0,991	0,991	0,000	0,000%
LCB from Zero pt	106,590	106,414	0,176	0,165%
Draft to Baseline	14,857	14,857	0,000	0,000%

Pada Tugas Akhir ini diharapkan untuk toleransi dari koreksi perbedaan antara model dan data pada kapal sebenarnya sebesar maksimal 2 %. Sehingga dengan melihat pada Tabel 4.2 dapat dikatakan bahwa model sudah memenuhi untuk dilakukan langkah selanjutnya dalam analisa.

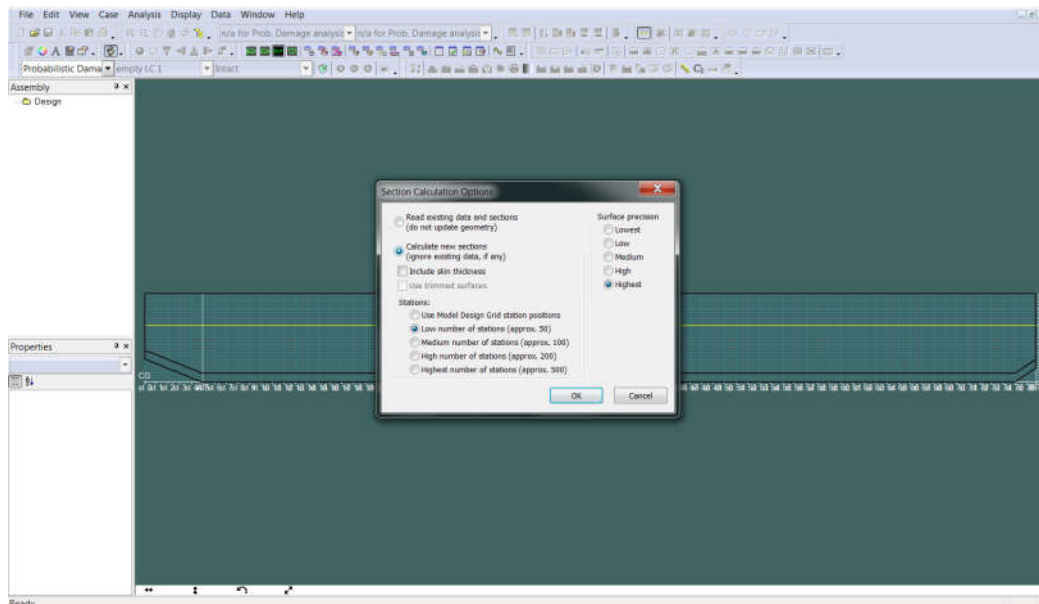
4.4 Permodelan Tangki-tangki dan Kompartemen dengan *Software Maxsurf Stability*

Setelah bagian terluar atau kulit kapal telah sesuai maka selanjutnya dibuat tangki-tangki atau kompartemen. Pembuatan tangki-tangki pada kapal dilakukan dengan program *Maxsurf Stability*. Untuk mengetahui panjang, lebar, dan tinggi tangki serta posisi tangki dibutuhkan rencana umum dari/ *tank Arrangement* kapal desain awal FSO. Terlebih dahulu dibuka program *Maxsurf Stability* dengan cara *Start > Program > Bentley Engineering > Maxsurf > Maxsurf Stability*. Setelah mengaktifkan program *Maxsurf Stability* tersebut, maka akan muncul tampilan grafis dari *Maxsurf Stability* sebagai berikut:




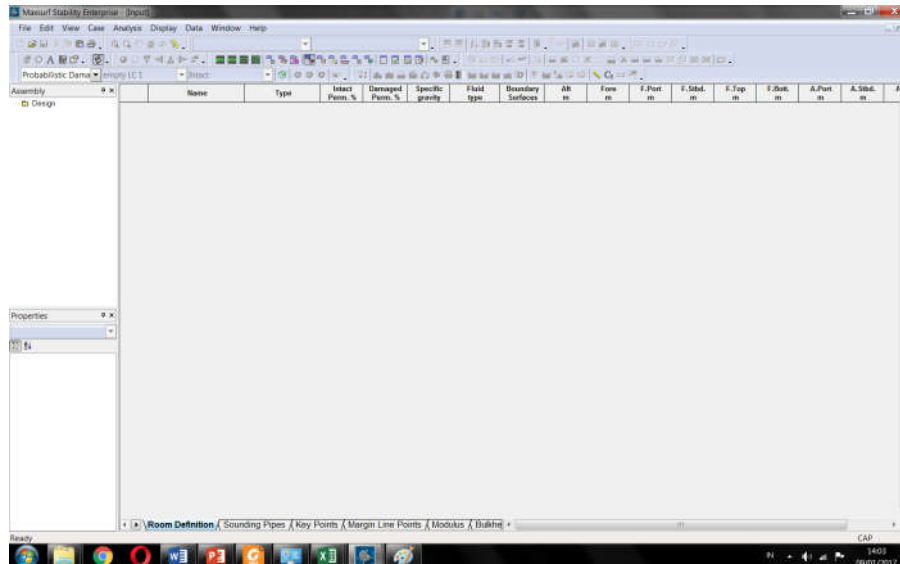
Gambar 4.13. *Software Maxsurf Stability*

Langkah selanjutnya adalah dengan membuka *file* model *Maxsurf Modeller* yang telah dibuat sebelumnya. Untuk membuka model *Maxsurf* ke dalam *Maxsurf Stability* maka yang dilakukan adalah klik *file > Open design >* pilih model kapal yang sudah dibuat sebelumnya. Kemudian akan muncul pilihan *Section Calculation Option* yang bertujuan untuk menentukan tingkat presisi dari *surface* dan jumlah dari *section* yang akan dibuat seperti pada:



Gambar 4.14. *Section Calculation Option*

Setelah model kapal yang telah dibuat dari *Maxsurf* muncul pada *Maxsurf Stability*, maka langkah selanjutnya adalah membuat tangki-tangki pada kapal dengan cara klik *Compartement Definition Window*  dan akan tampak pada layar seperti pada gambar:




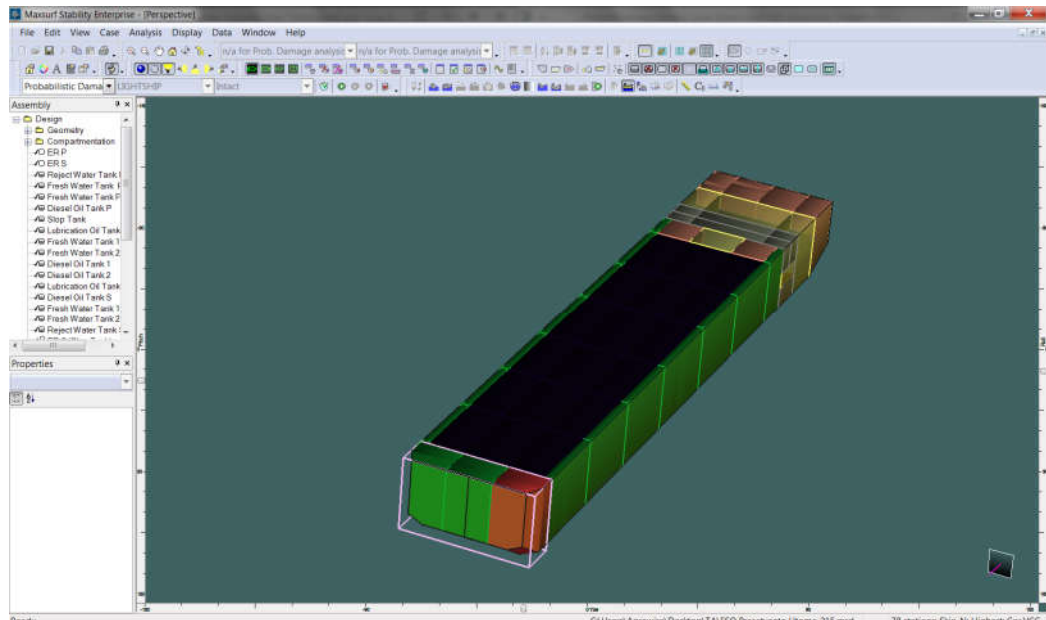
Gambar 4.15. *Compartement Definition Window*

Di dalam *Compartement Definition Window* terdapat kolom-kolom pada tabel. Selanjutnya dibuat tangki dengan memasukkan titik koordinat tangki sesuai dengan data *Tank arrangement* secara 3 dimensi pada tabel. Nama tangki dan tipe fluida yang disimpan pada tangki juga perlu dimasukkan. Input data tangki dapat dilihat pada:

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary surfaces	Alt. m	Free m	F. Port m	F. Stbd m	F. Top m	F. Bot. m	A. Port m	A. Stbd m
1 F.P.T.P	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	210	235.380	-2.7	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
2 F.P.T.S	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	210	235.380	-2.7	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
3 W.B.T.P.1	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
4 C.O.T.P.1	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
5 D.B.C.1	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
6 C.O.T.C.1	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
7 D.B.C.1	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
8 C.O.T.S.1	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
9 D.B.C.1	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
10 W.B.T.P.2	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
11 W.B.T.S.1	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
12 C.O.T.P.2	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
13 C.O.T.C.2	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
14 D.B.C.2	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
15 C.O.T.S.2	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
16 W.B.T.P.3	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
17 C.O.T.P.3	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
18 D.B.C.3	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
19 C.O.T.S.3	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
20 W.B.T.P.4	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
21 W.B.T.S.2	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
22 C.O.T.P.4	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
23 D.B.C.4	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
24 C.O.T.S.4	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
25 W.B.T.P.5	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
26 W.B.T.S.3	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
27 C.O.T.P.5	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
28 D.B.C.5	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
29 C.O.T.S.5	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
30 D.B.C.6	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000
31 C.O.T.S.6	Tank	100	100	0.8803	Oil Crude	name	182	219	-18.4	-2.2	23.2	0	0.000	0.000


Gambar 4.16. Input data tangki pada *Compartement Definition Window*

Setelah memasukkan data-data nama tangki, titik koordinat tangki, tipe fluida yang diangkut tangki, berat jenis muatan fluida dan sebagainya selanjutnya klik  (Update Value in Loadcase) untuk memunculkan tangki pada model kapal. Setelah itu akan tampak seperti pada:



Gambar 4.17. Model tangki-tangki desain awal FSO

4.5 Pengecekan kapasitas tangki-tangki pada model

Setelah model beserta tangkinya telah dibuat langkah selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan volume tangki-tangki pada model. Volume tangki pada model akan dijadikan acuan dengan data volume pada kapal sebenarnya. Untuk mengetahui volume tangki-tangki pada model kita *running tank calibration* pada Maxsurf. Setelah itu buka *Current Result Window* dengan klik . Maka dapat dilihat volume tangki pada model.

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
1 F.P.T.P	23.200	0.000	100.000	3232.328	3313.136	224.368	-13.603	12.164	0.000
2 ER P	23.000	0.200	99.090	3202.930	3283.003	224.366	-13.602	12.064	2137.663
3 ER S	22.700	0.400	96.000	3167.682	3246.874	224.365	-13.601	11.944	2137.663
4 Reject Water Tank 1	22.738	0.462	97.900	3164.448	3243.560	224.364	-13.601	11.933	2137.663
5 Fresh Water Tank 1	22.000	1.200	94.543	3055.938	3132.336	224.359	-13.599	11.562	2137.663
6 Fresh Water Tank 2	21.000	2.200	89.995	2908.946	2981.669	224.351	-13.595	11.060	2137.663
7 Fresh Water Tank 3	20.000	3.200	85.448	2761.953	2831.002	224.342	-13.590	10.557	2137.663
8 Slp Tank	19.000	4.200	80.900	2614.961	2680.335	224.333	-13.586	10.055	2137.663
9 Lubrication Oil Tank	18.000	5.200	76.353	2467.969	2529.668	224.322	-13.580	9.552	2137.663
10 Fresh Water Tank 1	17.000	6.200	71.805	2320.977	2379.002	224.309	-13.574	9.048	2137.663
11 Fresh Water Tank 2	16.000	7.200	67.258	2173.985	2228.335	224.295	-13.568	8.545	2137.663
12 Diesel Oil Tank 1	15.000	8.200	62.710	2026.993	2077.668	224.279	-13.560	8.040	2137.663
13 Diesel Oil Tank 2	14.000	9.200	58.162	1880.001	1927.001	224.261	-13.551	7.535	2137.663
14 Diesel Oil Tank 3	13.000	10.200	53.615	1733.009	1776.334	224.239	-13.540	7.029	2137.663
15 Fresh Water Tank 1	12.000	11.200	49.067	1586.017	1625.667	224.214	-13.528	6.522	2137.663
16	11.000	12.200	44.520	1439.024	1478.000	224.185	-13.515	6.014	2137.663

Gambar 4.18. Hasil *running tank calibration*

Dari hasil *Tank Calibration* nanti akan digunakan untuk menentukan posisi loadcase dari nilai perhitungan distribusi berat tiap tangki.

4.6 Pembuatan Loadcase

Dalam analisa *damage stability* di perlukan 3 kondisi *loadcase* antara lain adalah :

1. *Deepest subdivision Draft*
2. *Partial Subdivision Draft*
3. *Lightship Draft*

Dari hasil *Tank Calibration* sebelumnya dapat diketahui kapasitas tangki-tangki dari desain awal FSO ini dari situ kita komparasikan dengan data yang sudah ada yaitu distribusi berat dan pembebanan DWT.

Tabel 4.3. Penyebaran Berat DWT Kapal

III. TABEL PENYEBARAN BERAT DWT KAPAL									
Station	Capacity	Fresh Water Weight	Reject Water Weight	Diesel Oil Weight	Lub Oil Weight	Crew & Provision Weight	Slops Weight	Oil Surge Weight	DWT (ton)
0-1									0
1-2			2138,112				3634,79		5772,902
2-3		2138,112	2138,112	1817,3952	908,6976	3,75			7006,067
3-4	6250	2138,112		1817,3952	908,6976	3,75			11254,93
4-5	6250								6386,973
5-6	6250								6386,973
6-7	6250								6386,973
7-8	6250								6386,973
8-9	6250								6386,973
9-10	6250								6386,973
10-11	6250								6386,973
11-12	6250								6386,973
12-13	6250								6386,973
13-14	6250								6386,973
14-15	6250								6386,973
15-16	6250								6386,973
16-17	6250								6386,973
17-18	6250								6386,973
18-19	6250								6386,973
19-20							3634,79		4109,629
Σ =	100000	4276,224	4276,224	3634,7904	1817,395	7,5	7269,581	0	123948,1

Dari hal tersebut dapat diasumsikan bahwa *Load case* yang akan digunakan adalah sebagai berikut ini :

1. *Lightship*

Tabel 4.4. *LightShip*

No	Item Name	Qty	Unit Mass (Tonne)	Total Mass (Tonne)	Unit Volume (m ³)	Total Volume (m ³)	x (+ve Fore) Arm (m)	y (+ve Stbd) Arm (m)	z (+ve Up) Arm (m)
1	Lightship	1	19726,77	19726,8			95,957	0	16,471
2	Crew & Consumable	0	65,5	0			36	0	9,81
3	F.P.T P	0	3313,136	0	3232,328	0	222,189	-14,967	0
4	F.P.T C	0	3758,007	0	3666,349	0	222,408	0	0
5	F.P.T S	0	3313,136	0	3232,328	0	222,189	14,967	0
6	W.B.T P 1	0	1348,72	0	1315,825	0	205,291	-19,43	2
7	C.O.T P 1	0	5694,784	0	6410,88	0	205,5	-12,8	2
8	D.B P 1	0	616,957	0	601,909	0	205,48	-16,971	0
9	C.O.T C 1	0	7321,865	0	8242,559	0	205,5	0	2
10	D.B C 1	0%	796,874	0	777,438	0	206,286	0	0
11	C.O.T S 1	0%	5694,784	0	6410,88	0	205,5	12,8	2
12	D.B S 1	0%	616,957	0	601,909	0	205,48	16,971	0
13	W.B.T S 1	0%	1348,72	0	1315,825	0	205,291	19,43	2
14	W.B.T P 2	0%	1348,88	0	1315,981	0	178,5	-19,45	2
15	C.O.T P 2	0%	5694,784	0	6410,88	0	178,5	-12,8	2
16	D.B P 2	0%	619,87	0	604,752	0	178,5	-17,211	0
17	C.O.T C 2	0%	7321,865	0	8242,559	0	178,5	0	2
18	D.B C 2	0%	796,873	0	777,437	0	178,5	0	0
19	C.O.T S 2	0%	5694,784	0	6410,88	0	178,5	12,8	2
20	D.B S 2	0%	619,87	0	604,752	0	178,5	17,211	0
21	W.B.T S 2	0%	1348,88	0	1315,981	0	178,5	19,45	2
22	W.B.T P 3	0%	1348,88	0	1315,981	0	151,5	-19,45	2
23	C.O.T P 3	0%	5694,784	0	6410,88	0	151,5	-12,8	2
24	D.B P 3	0%	619,87	0	604,752	0	151,5	-17,211	0
25	C.O.T C 3	0%	7321,865	0	8242,559	0	151,5	0	2
26	D.B C 3	0%	796,873	0	777,437	0	151,5	0	0
27	C.O.T S 3	0%	5694,784	0	6410,88	0	151,5	12,8	2
28	D.B S 3	0%	619,87	0	604,752	0	151,5	17,211	0
29	W.B.T S 3	0%	1348,88	0	1315,981	0	151,5	19,45	2
30	W.B.T P 4	0%	1498,756	0	1462,201	0	123	-19,45	2
31	C.O.T P 4	0%	6327,538	0	7123,199	0	123	-12,8	2
32	D.B P 4	0%	688,745	0	671,946	0	123	-17,211	0
33	C.O.T C 4	0%	8135,406	0	9158,399	0	123	0	2
34	D.B C 4	0%	885,415	0	863,819	0	123	0	0
35	C.O.T S 4	0%	6327,538	0	7123,199	0	123	12,8	2
36	D.B S 4	0%	688,745	0	671,946	0	123	17,211	0
37	W.B.T S 4	0%	1498,756	0	1462,201	0	123	19,45	2
38	W.B.T P 5	0%	1348,88	0	1315,981	0	94,5	-19,45	2

39	C.O.T P 5	0%	5694,784	0	6410,88	0	94,5	-12,8	2
40	D.B P 5	0%	619,87	0	604,752	0	94,5	-17,211	0
41	C.O.T C 5	0%	7321,865	0	8242,559	0	94,5	0	2
42	D.B C 5	0%	796,873	0	777,437	0	94,5	0	0
43	C.O.T S 5	0%	5694,784	0	6410,88	0	94,5	12,8	2
44	D.B S 5	0%	619,87	0	604,752	0	94,5	17,211	0
45	W.B.T S 5	0%	1348,88	0	1315,981	0	94,5	19,45	2
46	W.B.T P 6	0%	1348,88	0	1315,981	0	67,5	-19,45	2
47	C.O.T P 6	0%	5694,784	0	6410,88	0	67,5	-12,8	2
48	D.B P 6	0%	619,87	0	604,752	0	67,5	-17,211	0
49	C.O.T C 6	0%	7321,865	0	8242,559	0	67,5	0	2
50	D.B C 6	0%	796,873	0	777,437	0	67,5	0	0
51	C.O.T S 6	0%	5694,784	0	6410,88	0	67,5	12,8	2
52	D.B S 6	0%	619,87	0	604,752	0	67,5	17,211	0
53	W.B.T S 6	0%	1348,88	0	1315,981	0	67,5	19,45	2
54	W.B.T P 7	0%	599,502	0	584,88	0	48	-19,45	2
55	VOID	0%	3,989	0	2849,28	0	48	-12,8	2
56	D.B P 7	0%	275,498	0	268,778	0	48	-17,211	0
57	D.B C 7	0%	354,166	0	345,528	0	48	0	0
58	VOID	0%	3,989	0	2849,28	0	48	12,8	2
59	D.B S 7	0%	275,498	0	268,778	0	48	17,211	0
60	W.B.T S 7	0%	599,502	0	584,88	0	48	19,45	2
61	A.P.T P	0%	3,385	0	2417,927	0	14,915	-17,311	0
62	A.P.T CP	0%	5,345	0	3817,658	0	14,915	-11,411	0
63	A.P.T CS	0%	5,345	0	3817,658	0	14,915	11,411	0
64	A.P.T S	0%	3,385	0	2417,927	0	14,915	17,311	0
65	Reject Water Tank P	0%	2136,74	0	2029,193	0	22,5	-17,311	0
66	Reject Water Tank S	0%	2136,74	0	2029,193	0	22,5	17,311	0
67	Fresh Water Tank 1	0%	1315,44	0	1315,44	0	33	0	14,5
68	Fresh Water Tank 2	0%	1315,44	0	1315,44	0	39	0	14,5
69	Diesel Oil Tank 1	0%	1143,028	0	1360,748	0	33	0	0
70	Diesel Oil Tank 2	0%	1143,028	0	1360,748	0	39	0	0
71	Fresh Water Tank P 1	0%	422,82	0	422,82	0	33	-16,65	14,5
72	Fresh Water Tank 1 S	0%	422,82	0	422,82	0	33	16,65	14,5
73	Slop Tank	0%	3623,626	0	3968,922	0	19,5	0	0
74	Fresh Water Tank P 2	0%	422,82	0	422,82	0	39	-16,65	14,5
75	Fresh Water Tank 2 S	0%	422,82	0	422,82	0	39	16,65	14,5
76	Diesel Oil Tank P	0%	710,433	0	845,754	0	36	-17,311	0
77	Diesel Oil Tank S	0%	710,433	0	845,754	0	36	17,311	0
78	Lubrication Oil Tank	0%	417,312	0	453,6	0	39	0	9
79	Lubrication Oil Tank	0%	1251,888	0	1360,748	0	27	0	0
80	Total Loadcase			19726,8	205877,42	0	95,957	0	16,471

2. Partial Subdivision draft

Tabel 4.5. Full Load Ballast Tank

No	Item Name	Qty	Unit Mass (Tonne)	Total Mass (Tonne)	Unit Volume (m ³)	Total Volume (m ³)	x (+ve Fore) Arm (m)	y (+ve Stbd) Arm (m)	z (+ve Up) Arm (m)
1	Lightship	1	19726,77	19726,8			95,957	0	16,471
2	Crew & Consumable	1	65,5	65,5			36	0	9,81
3	F.P.T P	1	3313,136	3313,14	3232,328	3232,33	224,368	-13,603	12,164
4	F.P.T C	1	3758,007	3758,01	3666,349	3666,35	224,55	0	12,001
5	F.P.T S	1	3313,136	3313,14	3232,328	3232,33	224,368	13,603	12,164
6	W.B.T P 1	1	1348,72	1348,72	1315,825	1315,83	205,499	-19,549	12,606
7	C.O.T P 1	0	5694,784	0	6410,88	0	205,5	-12,8	2
8	D.B P 1	1	616,957	616,957	601,909	601,909	205,448	-12,776	1,004
9	C.O.T C 1	0	7321,865	0	8242,559	0	205,5	0	2
10	D.B C 1	100%	796,874	796,874	777,438	777,438	205,5	0	1
11	C.O.T S 1	0%	5694,784	0	6410,88	0	205,5	12,8	2
12	D.B S 1	100%	616,957	616,957	601,909	601,909	205,448	12,776	1,004
13	W.B.T S 1	100%	1348,72	1348,72	1315,825	1315,83	205,499	19,549	12,606
14	W.B.T P 2	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	178,5	-19,55	12,604
15	C.O.T P 2	0%	5694,784	0	6410,88	0	178,5	-12,8	2
16	D.B P 2	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	178,5	-12,8	1
17	C.O.T C 2	0%	7321,865	0	8242,559	0	178,5	0	2
18	D.B C 2	100%	796,873	796,873	777,437	777,437	178,5	0	1
19	C.O.T S 2	0%	5694,784	0	6410,88	0	178,5	12,8	2
20	D.B S 2	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	178,5	12,8	1
21	W.B.T S 2	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	178,5	19,55	12,604
22	W.B.T P 3	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	151,5	-19,55	12,604
23	C.O.T P 3	0%	5694,784	0	6410,88	0	151,5	-12,8	2
24	D.B P 3	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	151,5	-12,8	1
25	C.O.T C 3	0%	7321,865	0	8242,559	0	151,5	0	2
26	D.B C 3	100%	796,873	796,873	777,437	777,437	151,5	0	1
27	C.O.T S 3	0%	5694,784	0	6410,88	0	151,5	12,8	2
28	D.B S 3	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	151,5	12,8	1
29	W.B.T S 3	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	151,5	19,55	12,604
30	W.B.T P 4	100%	1498,756	1498,76	1462,201	1462,2	123	-19,55	12,604
31	C.O.T P 4	0%	6327,538	0	7123,199	0	123	-12,8	2
32	D.B P 4	100%	688,745	688,745	671,946	671,946	123	-12,8	1
33	C.O.T C 4	0%	8135,406	0	9158,399	0	123	0	2
34	D.B C 4	100%	885,415	885,415	863,819	863,819	123	0	1
35	C.O.T S 4	0%	6327,538	0	7123,199	0	123	12,8	2
36	D.B S 4	100%	688,745	688,745	671,946	671,946	123	12,8	1
37	W.B.T S 4	100%	1498,756	1498,76	1462,201	1462,2	123	19,55	12,604
38	W.B.T P 5	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	94,5	-19,55	12,604
39	C.O.T P 5	0%	5694,784	0	6410,88	0	94,5	-12,8	2
40	D.B P 5	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	94,5	-12,8	1

41	C.O.T C 5	0%	7321,865	0	8242,559	0	94,5	0	2
42	D.B C 5	100%	796,873	796,873	777,437	777,437	94,5	0	1
43	C.O.T S 5	0%	5694,784	0	6410,88	0	94,5	12,8	2
44	D.B S 5	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	94,5	12,8	1
45	W.B.T S 5	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	94,5	19,55	12,604
46	W.B.T P 6	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	67,5	-19,55	12,604
47	C.O.T P 6	0%	5694,784	0	6410,88	0	67,5	-12,8	2
48	D.B P 6	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	67,5	-12,8	1
49	C.O.T C 6	0%	7321,865	0	8242,559	0	67,5	0	2
50	D.B C 6	100%	796,873	796,873	777,437	777,437	67,5	0	1
51	C.O.T S 6	0%	5694,784	0	6410,88	0	67,5	12,8	2
52	D.B S 6	100%	619,87	619,87	604,752	604,752	67,5	12,8	1
53	W.B.T S 6	100%	1348,88	1348,88	1315,981	1315,98	67,5	19,55	12,604
54	W.B.T P 7	100%	599,502	599,502	584,88	584,88	48	-19,55	12,604
55	VOID	0%	3,989	0	2849,28	0	48	-12,8	2
56	D.B P 7	100%	275,498	275,498	268,778	268,778	48	-12,8	1
57	D.B C 7	100%	354,166	354,166	345,528	345,528	48	0	1
58	VOID	0%	3,989	0	2849,28	0	48	12,8	2
59	D.B S 7	100%	275,498	275,498	268,778	268,778	48	12,8	1
60	WBT S 7	100%	599,502	599,502	584,88	584,88	48	19,55	12,604
61	A.P.T P	0%	3,385	0	2417,927	0	14,915	-17,311	0
62	A.P.T CP	0%	5,345	0	3817,658	0	14,915	-11,411	0
63	A.P.T CS	0%	5,345	0	3817,658	0	14,915	11,411	0
64	A.P.T S	0%	3,385	0	2417,927	0	14,915	17,311	0
65	Reject Water Tank P	50%	2136,74	1068,37	2029,193	1014,6	22,5	-16,531	4,453
66	Reject Water Tank S	50%	2136,74	1068,37	2029,193	1014,6	22,5	16,531	4,453
67	Fresh Water Tank 1	100%	1315,44	1315,44	1315,44	1315,44	33	0	18,85
68	Fresh Water Tank 2	100%	1315,44	1315,44	1315,44	1315,44	39	0	18,85
69	Diesel Oil Tank 1	97%	1143,028	1108,74	1360,748	1319,93	33	0	4,365
70	Diesel Oil Tank 2	97%	1143,028	1108,74	1360,748	1319,93	39	0	4,365
71	Fresh Water Tank P 1	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	33	-16,65	18,85
72	Fresh Water Tank 1 S	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	33	16,65	18,85
73	Slop Tank	10%	3623,626	362,363	3968,922	396,892	19,5	0	0,875
74	Fresh Water Tank P 2	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	39	-16,65	18,85
75	Fresh Water Tank 2 S	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	39	16,65	18,85
76	Diesel Oil Tank P	97%	710,433	689,121	845,754	820,382	36	-16,533	4,498
77	Diesel Oil Tank S	97%	710,433	689,121	845,754	820,382	36	16,533	4,498
78	Lubrication Oil Tank	97%	417,312	404,793	453,6	439,992	39	0	10,455
79	Lubrication Oil Tank	97%	1251,888	1214,33	1360,748	1319,93	27	0	4,365
80	Total Loadcase			73243	205877,42	53193,3	118,285	0	10,981

3. Deepest Subdivision Draft

Tabel 4.6. Full Load Cargo Tank

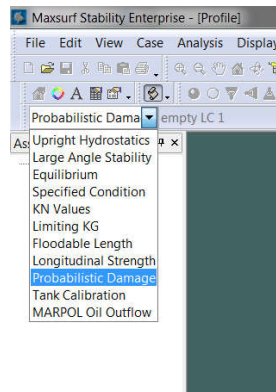
No	Item Name	Qty	Unit Mass (Tonne)	Total Mass (Tonne)	Unit Volume (m ³)	Total Volume (m ³)	x (+ve Fore) Arm (m)	y (+ve Stbd) Arm (m)	z (+ve Up) Arm (m)
1	Lightship	1	19726,77	19726,8			95,957	0	16,471
2	Crew & Consumable	1	65,5	65,5			36	0	9,81
3	F.P.T P	0	3313,136	0	3232,328	0	222,189	-14,967	0
4	F.P.T C	0	3758,007	0	3666,349	0	222,408	0	0
5	F.P.T S	0	3313,136	0	3232,328	0	222,189	14,967	0
6	W.B.T P 1	0	1348,72	0	1315,825	0	205,291	-19,43	2
7	C.O.T P 1	1	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	205,5	-12,8	12,282
8	D.B P 1	0	616,957	0	601,909	0	205,48	-16,971	0
9	C.O.T C 1	0	7321,865	0	8242,559	0	205,5	0	2
10	D.B C 1	0%	796,874	0	777,438	0	206,286	0	0
11	C.O.T S 1	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	205,5	12,8	12,282
12	D.B S 1	0%	616,957	0	601,909	0	205,48	16,971	0
13	W.B.T S 1	0%	1348,72	0	1315,825	0	205,291	19,43	2
14	W.B.T P 2	0%	1348,88	0	1315,981	0	178,5	-19,45	2
15	C.O.T P 2	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	178,5	-12,8	12,282
16	D.B P 2	0%	619,87	0	604,752	0	178,5	-17,211	0
17	C.O.T C 2	97%	7321,865	7102,21	8242,559	7995,28	178,5	0	12,282
18	D.B C 2	0%	796,873	0	777,437	0	178,5	0	0
19	C.O.T S 2	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	178,5	12,8	12,282
20	D.B S 2	0%	619,87	0	604,752	0	178,5	17,211	0
21	W.B.T S 2	0%	1348,88	0	1315,981	0	178,5	19,45	2
22	W.B.T P 3	0%	1348,88	0	1315,981	0	151,5	-19,45	2
23	C.O.T P 3	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	151,5	-12,8	12,282
24	D.B P 3	0%	619,87	0	604,752	0	151,5	-17,211	0
25	C.O.T C 3	97%	7321,865	7102,21	8242,559	7995,28	151,5	0	12,282
26	D.B C 3	0%	796,873	0	777,437	0	151,5	0	0
27	C.O.T S 3	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	151,5	12,8	12,282
28	D.B S 3	0%	619,87	0	604,752	0	151,5	17,211	0
29	W.B.T S 3	0%	1348,88	0	1315,981	0	151,5	19,45	2
30	W.B.T P 4	0%	1498,756	0	1462,201	0	123	-19,45	2
31	C.O.T P 4	97%	6327,538	6137,71	7123,199	6909,5	123	-12,8	12,282
32	D.B P 4	0%	688,745	0	671,946	0	123	-17,211	0
33	C.O.T C 4	97%	8135,406	7891,34	9158,399	8883,65	123	0	12,282
34	D.B C 4	0%	885,415	0	863,819	0	123	0	0
35	C.O.T S 4	97%	6327,538	6137,71	7123,199	6909,5	123	12,8	12,282
36	D.B S 4	0%	688,745	0	671,946	0	123	17,211	0
37	W.B.T S 4	0%	1498,756	0	1462,201	0	123	19,45	2
38	W.B.T P 5	0%	1348,88	0	1315,981	0	94,5	-19,45	2
39	C.O.T P 5	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	94,5	-12,8	12,282
40	D.B P 5	0%	619,87	0	604,752	0	94,5	-17,211	0
41	C.O.T C 5	97%	7321,865	7102,21	8242,559	7995,28	94,5	0	12,282

42	D.B C 5	0%	796,873	0	777,437	0	94,5	0	0
43	C.O.T S 5	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	94,5	12,8	12,282
44	D.B S 5	0%	619,87	0	604,752	0	94,5	17,211	0
45	W.B.T S 5	0%	1348,88	0	1315,981	0	94,5	19,45	2
46	W.B.T P 6	0%	1348,88	0	1315,981	0	67,5	-19,45	2
47	C.O.T P 6	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	67,5	-12,8	12,282
48	D.B P 6	0%	619,87	0	604,752	0	67,5	-17,211	0
49	C.O.T C 6	97%	7321,865	7102,21	8242,559	7995,28	67,5	0	12,282
50	D.B C 6	0%	796,873	0	777,437	0	67,5	0	0
51	C.O.T S 6	97%	5694,784	5523,94	6410,88	6218,55	67,5	12,8	12,282
52	D.B S 6	0%	619,87	0	604,752	0	67,5	17,211	0
53	W.B.T S 6	0%	1348,88	0	1315,981	0	67,5	19,45	2
54	W.B.T P 7	0%	599,502	0	584,88	0	48	-19,45	2
55	VOID	100%	3,989	3,989	2849,28	2849,28	48	-12,8	12,6
56	D.B P 7	0%	275,498	0	268,778	0	48	-17,211	0
57	D.B C 7	0%	354,166	0	345,528	0	48	0	0
58	VOID	100%	3,989	3,989	2849,28	2849,28	48	12,8	12,6
59	D.B S 7	0%	275,498	0	268,778	0	48	17,211	0
60	W.B.T S 7	0%	599,502	0	584,88	0	48	19,45	2
61	A.P.T P	100%	3,385	3,385	2417,927	2417,93	7,877	-16,6	13,164
62	A.P.T CP	100%	5,345	5,345	3817,658	3817,66	7,871	-6,3	13,024
63	A.P.T CS	100%	5,345	5,345	3817,658	3817,66	7,871	6,3	13,024
64	A.P.T S	100%	3,385	3,385	2417,927	2417,93	7,877	16,6	13,164
65	Reject Water Tank P	50%	2136,74	1068,37	2029,193	1014,6	22,5	-16,531	4,453
66	Reject Water Tank S	50%	2136,74	1068,37	2029,193	1014,6	22,5	16,531	4,453
67	Fresh Water Tank 1	100%	1315,44	1315,44	1315,44	1315,44	33	0	18,85
68	Fresh Water Tank 2	100%	1315,44	1315,44	1315,44	1315,44	39	0	18,85
69	Diesel Oil Tank 1	97%	1143,028	1108,74	1360,748	1319,93	33	0	4,365
70	Diesel Oil Tank 2	97%	1143,028	1108,74	1360,748	1319,93	39	0	4,365
71	Fresh Water Tank P 1	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	33	-16,65	18,85
72	Fresh Water Tank 1 S	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	33	16,65	18,85
73	Slop Tank	10%	3623,626	362,363	3968,922	396,892	19,5	0	0,875
74	Fresh Water Tank P 2	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	39	-16,65	18,85
75	Fresh Water Tank 2 S	100%	422,82	422,82	422,82	422,82	39	16,65	18,85
76	Diesel Oil Tank P	97%	710,433	689,121	845,754	820,382	36	-16,533	4,498
77	Diesel Oil Tank S	97%	710,433	689,121	845,754	820,382	36	16,533	4,498
78	Lubrication Oil Tank	97%	417,312	404,793	453,6	439,992	39	0	10,455
79	Lubrication Oil Tank	97%	1251,888	1214,33	1360,748	1319,93	27	0	4,365
80	Total Loadcase			135669	205877,42	147828	117,678	0	12,661

4.7 Persiapan Simulasi Kebocoran pada model

Langkah –langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah :

1. Melakukan input data di software Maxsurf Stability pada menu Probabilistic Damage Stability.



Gambar 4.19. Menu *probabilistic damage* pada *software Maxsurf Stability*

2. Lalu pilih file > New Prob. Damage akan muncul tabel seperti gambar dibawah ini.

The image shows a screenshot of the Maxsurf Stability Enterprise software interface with the 'Probabilistic Damage' table open. The table has four columns: Item, Value, and Units. The table contains various parameters for probabilistic damage analysis, including vessel parameters, loadcases, and damage extent limits. The 'Properties' pane on the left shows the 'Design' and 'Geometry' tabs. The 'Global' tab is selected in the bottom pane.

Item	Value	Units
1 Probabilistic damage		
2 Resolution – MSC 216(82) or MSC 19(58)	MSC 216(82)	
3 Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes	
4 Loadcases		
5 Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Select loadcase	
6 Partial subdivision draft Loadcase	Select loadcase	
7 Light service draft Loadcase	Select loadcase	
8		
9 Vessel parameters		
10 Type – Cargo or Passenger	Cargo	
11 Subdivision length L_s	215.200	m
12 Aft terminal of L_s	0.000	m
13 Forward terminal of L_s	215.200	m
14 Mid L_s	107.600	m
15 max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft B	0.000	m
16 max. number of adjacent zones to consider	1	
17 max. trim angle to consider	max. number of adjacent zones to consider s-factors will not be computed	
18 Limit longitudinal extent of damage? (l_max=60.000, J_max=0.30303)	Limit	
19 Limit vertical extent of damage?	Limit	
20 max. vertical extent of damage	not calculated	m
21 Damaged side – Starboard or Port	Starboard	
22 Zone 1 located at bow or stern?	Stem	
23		
24 MSC 216(82) – Required subdivision index		
25 Cargo ships over 80m: R (formula depends on length)	0.65142	
26 Reduction factor for R	1.000	
27 Required subdivision index (applying reduction factor)	0.65142	
28 Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0.900	
29 Required subdivision index for each loadcase	0.58627	
30		
31 Constants		
32 J_max – MSC 216(82) formulation	0.30303	
33 J_min	0.15152	
34 p_R	0.91667	
35 L_max	60.000	m
36 L_star	260.000	m
37 Vessel specific calice (zone independent)		
38 J_min_star	0.30303	
39 J_min_star	0.15152	
40		
41 Global / Zones / Long. Bkds / Decks / p Factors / r Factors / v Factors / Damage Space		

Gambar 4.20. Tabel *probabilistic damage* pada *software Maxsurf Stability*

3. Pilihlah resolution yang diinginkan, yaitu MSC 216(82) yang bersangkutan dengan SOLAS 2009 *Consolited Edition Chapter II-1 part B-1 Tentang Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship*.

Item	Value	Units
1	Probabilistic damage	
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes

Gambar 4.21. Pemilihan *Resolution*

4. Setelah itu Isikan data *loadcase* sesuai dengan nama *loadcase* yang telah ditentukan sebelumnya yaitu.

- *Deepest Subdivision draft > Full load cargo tank*
- *Partial Subdivision draft > Full load ballast tank*
- *Light service draft > Lightship*

Item	Value	Units
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes
5	Loadcases	
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Select loadcase
7	Partial subdivision draft Loadcase	Select loadcase
8	Light service draft Loadcase	Loadcase that defines the Partial subdivision draft Loadcase
10	Vessel parameters	
11	Type -- Cargo or Passenger	Cargo
12	Subdivision length L_s	215,200 m

Gambar 4.22. Menentukan *loadcase* mana yang digunakan dalam analisis

5. Isi kan pula jenis kapal yaitu *Cargo* atau *Passenger*
6. Isikan jumlah zona yang ingin di uji kebocoran nya
7. Lalu sisi kapal mana yang akan bocor antara *port* atau *starboard*.

Item	Value	Units
10	Vessel parameters	
11	Type -- Cargo or Passenger	Cargo
12	Subdivision length L_s	215,200 m
13	Aft terminal of L_s	0,000 m
14	Fwd terminal of L_s	215,200 m
15	Mid L_s	107,600 m
16	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	0,000 m
17	max. number of adjacent zones to consider	1
18	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100
19	max. trim angle to consider	40,0 deg
20	Limit longitudinal extent of damage? (l_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit
21	Limit vertical extent of damage?	Limit
22	max. vertical extent of damage	not calculated m
23	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard
24	Zone 1 located at bow or stern?	Stern
26	MSC.216(82) -- Required subdivision index	

Gambar 4.23. Menentukan jumlah zona yang di analisa, sisi yg bocor dan lokasi awal zona kebocoran

8. Tentukan pula awal zona kebocoran berada, pada posisi *stern* atau *bow*.
9. Software akan melakukan perhitungan secara otomatis untuk menentukan nilai indeks R, pada tabel tersebut juga memungkinkan kita untuk mereduksi nilai R untuk menyesuaikan dengan perhitungan nilai index R yang ada di *SOLAS 2009 Consolited Edition Chapter II-1 part B-1 Tentang Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship*.

Karena dari perhitungan software dapat dilihat bahwa index R lebih besar dari pada nilai index R pada perhitungan manual, nilai index R di reduksi agar sesuai dengan nilai yang sebenarnya.

26	MSC.216(82) -- Required subdivision index		
27	Cargo ships over 80m: R (formula depends on length)	0,65142	
28	Reduction factor for R	1,000	
29	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,65142	
30	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900	
31	Required subdivision index for each loadcase	0,58627	
32			

Gambar 4.24. Menentukan reduksi nilai R

Setelah selesai mengisi data yang di perlukan didapatkan nilai seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4.7. *Global Probabilistic Damage*

No	Item	Value	Unit
	Probabilistic damage Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58) Do automatic combinations of vertical damage ?	MSC.216(82) Yes	
	Loadcases Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase Partial subdivision draft Loadcase Light service draft Loadcase	OAD CARGO TANK AD BALLAST TANK LIGHTSHIP	draft: 14,374 m draft: 5,127 m draft: 2,311 m
	Vessel parameters Type -- Cargo or Passenger Subdivision length L _s Aft terminal of L _s Fwd terminal of L _s Mid L _s max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B max. number of adjacent zones to consider min. probability (p.r.v) of damage to consider max. trim angle to consider Limit longitudinal extent of damage? (l _{max} =60,000; J _{max} =0,30303) Limit vertical extent of damage? max. vertical extent of damage Damaged side -- Starboard or Port Zone 1 located at bow or stern?	Cargo 230,398 0 230,398 115,199 41,6 9 0,0001 40 Unlimited Limit 26,874 Port Bow	m m m m m deg deg m m
	MSC.216(82) -- Required subdivision index Cargo ships over 80m: R (formula depends on length) Reduction factor for R Required subdivision index (appying reduction factor) Factor of R for required subdivision index for each loadcase Required subdivision index for each loadcase	0,66527 0,979 0,65142 0,5 0,32571	
	Constants J _{max} -- MSC.216(82) formulation J _{kn} p _k l _{max} L _{star}	0,30303 0,15152 0,91667 60 260	m m
	Vessel specific calcs (zone independent) J _{m_star} J _{k_star} J _m J _k	0,30303 0,15152 0,30303 0,15152	
	Probability distribution coefficients b ₀ b ₁₁ b ₁₂ b ₂₁ b ₂₂	11 -65,34 11 -7,26 2,2	

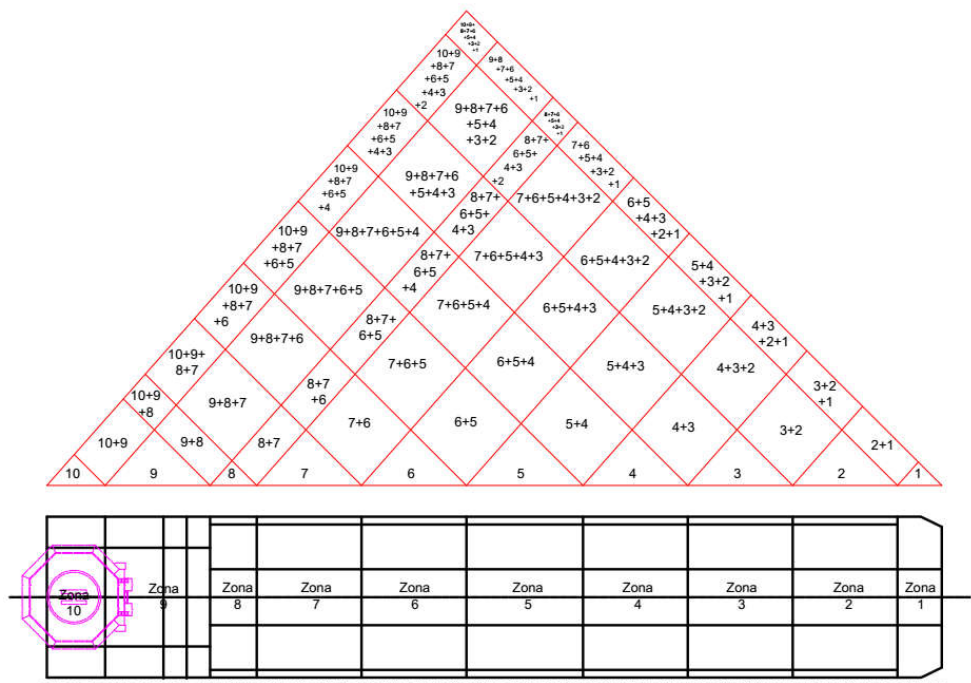
10. Penentuan zona kebocoran

Zona *damage* di tentukan diantar tiap sekat melintang, jarak di antaranya diukur berdasarkan *tank arrangement* dan dengan posisi Zona 1 berada didepan (*bow*) seperti pada tabel diatas maka didapatkan tabel zona kebocoran adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. *Damages Zone*

No	Name	Aft. (m)	Fore (m)	Lenght (m)	Centre (m)
1	Zone 1	219	230,398	11,398	224,699
2	Zone 2	192	219	27	205,5
3	Zone 3	165	192	27	178,5
4	Zone 4	138	165	27	151,5
5	Zone 5	108	138	30	123
6	Zone 6	81	108	27	94,5
7	Zone 7	54	81	27	67,5
8	Zone 8	42	54	12	48
9	Zone 9	15	42	27	28,5
10	Zone 10	0	15	15	7,5

Yang juga bisa digambarkan seperti berikut ini :



Gambar 4.25. Posisi *Damage Zone* dan segitiga kebocoran nya

11. Menentukan posisi *Longitudinal Bulkhead* dan *Deck*

Berdasarkan *Tank Arrangement* dapat ditentukan pula posisi *longitudinal bulkhead* di tiap zonanya, dengan posisi nilai 0 adalah pada lebar kapal maka didapatkan tabel posisi *Longitudinal Bulkhead* di tiap zona seperti berikut ini :

Tabel 4.9. *Longitudinal Bulkhead*

Zones	Shell Half - Beam (m)	Number of Longitudinal BH	b1 (m)	b2 (m)	b3 (m)	b4 (m)	b5 (m)
1 adjacent zone							
Zone 1, 1	20,8	1	13,6	n/a	n/a	n/a	n/a
Zone 2, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 3, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 4, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 5, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 6, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 7, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 8, 1	20,8	2	2	13,5	n/a	n/a	n/a
Zone 9, 1	20,8	1	8	n/a	n/a	n/a	n/a
Zone 10, 1	20,8	2	8	20,8	n/a	n/a	n/a

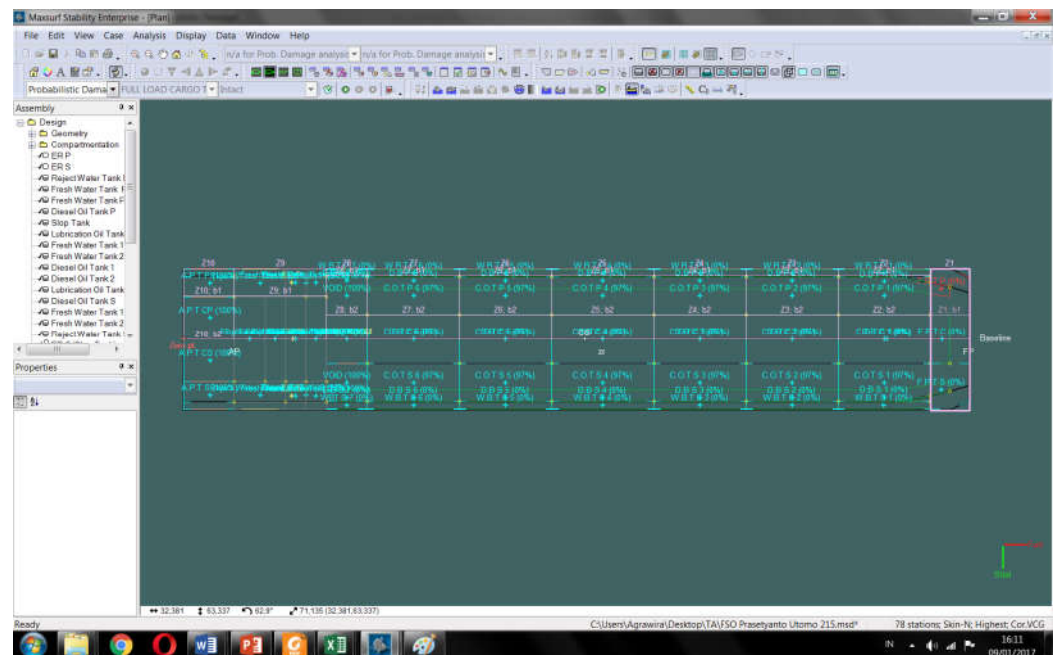
Begitu juga pada posisi *deck* yang ada di setiap zona, dimana *double bottom* juga dianggap sebagai deck sehingga didapatkan tabel berikut ini :

Tabel 4.10. Posisi *Deck*

Zones	Number of Deck	h1 (m)	h2 (m)
1 adjacent zone			
Zone 1, 1	1	23,2	n/a
Zone 2, 1	2	2	23,2
Zone 3, 1	2	2	23,2
Zone 4, 1	2	2	23,2
Zone 5, 1	2	2	23,2
Zone 6, 1	2	2	23,2
Zone 7, 1	2	2	23,2
Zone 8, 1	2	2	23,2
Zone 9, 1	1	23,2	n/a
Zone 10, 1	1	23,2	n/a

Dari tabel diatas juga bisa digambarkan pada model dengan cara melakukan

KLICK  sehingga akan ditampilkan gambar sebagai berikut :



Gambar 4.26. Posisi *Longitudinal Bulkhead dan Deck*

12. Kita berlanjut ke penentuan permeability, dimana sesuai dengan SOLAS 2009 Consolited Edition Chapter II-1 part B-1 Tentang Subdivision and Damage Stability of Cargo Ship, regulation 7-3 tentang permeability :

Tabel 4.11. *Permeability*

SPACE	PERMEABILITY
1. Kompartemen untuk Store / Gudang.	0,6
1. Ruang Akomodasi.	0,95
2. Ruang Mesin.	0,85
3. Kompartemen Muatan kering.	0,7
4. Kargo diisi Zat Cair penuh	0
5. Itended for Liquid	0 atau 0,95

Sehingga didapatkan tabel sebagai berikut ini :

Tabel 4.12. *Permeability*

No	Name	Type	Deepest Subdivison Draft Perm. (%)	Partial Subdivision Draft Perm. (%)	Light Service Draft Perm. (%)
1	F.P.T P	Tank	95	95	95
2	F.P.T C	Tank	95	95	95
3	F.P.T S	Tank	95	95	95
4	W.B.T P 1	Tank	95	95	95
5	C.O.T P 1	Tank	70	80	90
6	D.B P 1	Tank	95	95	95
7	C.O.T C 1	Tank	70	80	90
8	D.B C 1	Tank	95	95	95
9	C.O.T S 1	Tank	70	80	90
10	D.B S 1	Tank	95	95	95
11	W.B.T S 1	Tank	95	95	95
12	W.B.T P 2	Tank	95	95	95
13	C.O.T P 2	Tank	70	80	90
14	D.B P 2	Tank	95	95	95
15	C.O.T C 2	Tank	70	80	90
16	D.B C 2	Tank	95	95	95
17	C.O.T S 2	Tank	70	80	90
18	D.B S 2	Tank	95	95	95
19	W.B.T S 2	Tank	95	95	95
20	W.B.T P 3	Tank	95	95	95
21	C.O.T P 3	Tank	70	80	90
22	D.B P 3	Tank	95	95	95
23	C.O.T C 3	Tank	70	80	90
24	D.B C 3	Tank	95	95	95
25	C.O.T S 3	Tank	70	80	90
26	D.B S 3	Tank	95	95	95
27	W.B.T S 3	Tank	95	95	95
28	W.B.T P 4	Tank	95	95	95
29	C.O.T P 4	Tank	70	80	90
30	D.B P 4	Tank	95	95	95
31	C.O.T C 4	Tank	70	80	90
32	D.B C 4	Tank	95	95	95
33	C.O.T S 4	Tank	70	80	90
34	D.B S 4	Tank	95	95	95
35	W.B.T S 4	Tank	95	95	95
36	W.B.T P 5	Tank	95	95	95
37	C.O.T P 5	Tank	70	80	90
38	D.B P 5	Tank	95	95	95
39	C.O.T C 5	Tank	70	80	90
40	D.B C 5	Tank	95	95	95

Tabel 4.12. *Permeability*

No	Name	Type	Deepest Subdivison Draft Perm. (%)	Partial Subdivision Draft Perm. (%)	Light Service Draft Perm. (%)
41	C.O.T S 5	Tank	70	80	90
42	D.B S 5	Tank	95	95	95
43	W.B.T S 5	Tank	95	95	95
44	W.B.T P 6	Tank	95	95	95
45	C.O.T P 6	Tank	70	80	90
46	D.B P 6	Tank	95	95	95
47	C.O.T C 6	Tank	70	80	90
48	D.B C 6	Tank	95	95	95
49	C.O.T S 6	Tank	70	80	90
50	D.B S 6	Tank	95	95	95
51	W.B.T S 6	Tank	95	95	95
52	W.B.T P 7	Tank	95	95	95
53	VOID	Tank	95	95	95
54	D.B P 7	Tank	95	95	95
55	PUMP ROOM	Compartment	85	85	85
56	D.B C 7	Tank	95	95	95
57	VOID	Tank	95	95	95
58	D.B S 7	Tank	95	95	95
59	WBT S 7	Tank	95	95	95
60	ER P	Compartment	85	85	85
61	ER C	Compartment	85	85	85
62	ER S	Compartment	85	85	85
63	Reject Water Tank P	Tank	70	80	90
64	Fresh Water Tank P 1	Tank	70	80	90
65	Fresh Water Tank P 2	Tank	70	80	90
66	Diesel Oil Tank P	Tank	70	80	90
67	Slop Tank	Tank	70	80	90
68	Lubrication Oil Tank	Tank	70	80	90
69	Fresh Water Tank 1	Tank	70	80	90
70	Fresh Water Tank 2	Tank	70	80	90
71	Diesel Oil Tank 1	Tank	70	80	90
72	Diesel Oil Tank 2	Tank	70	80	90
73	Lubrication Oil Tank	Tank	70	80	90
74	Diesel Oil Tank S	Tank	70	80	90
75	Fresh Water Tank 1 S	Tank	70	80	90
76	Fresh Water Tank 2 S	Tank	70	80	90
77	Reject Water Tank S	Tank	70	80	90
78	A.P.T P	Tank	95	95	95
79	A.P.T CP	Tank	95	95	95
80	A.P.T CS	Tank	95	95	95
81	A.P.T S	Tank	95	95	95

4.7.1 Perencanaan Kebocoran

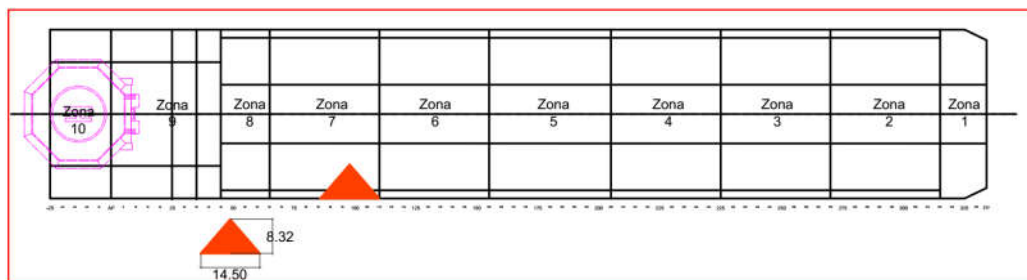
Panjang kebocoran pada *oil tanker* diatur oleh MARPOL Annex 1 (*Regulation for the prevention of pollution by oil*), *chapter 4 Part A regulation 24* tentang *damage assumption*. Perhitungan panjang kebocoran dibagi menjadi 2 bagian *side damage* dan *bottom damage*.

Dengan $L=215,1$ m maka didapatkan hasil sesuai tabel berikut ini:

Tabel 4.13. Panjang kebocoran

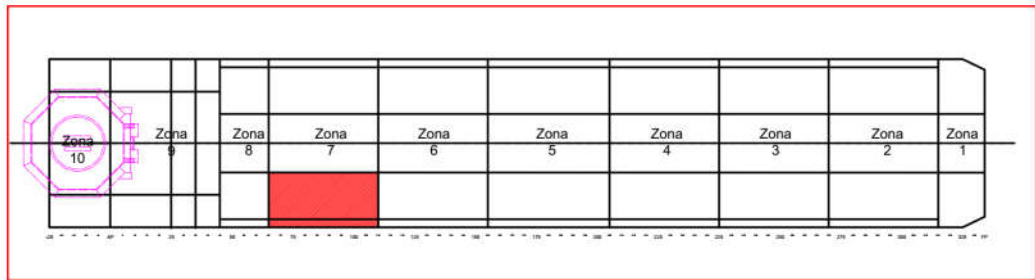
MARPOL Annex 1 Chapter 4 Regulation 28						
Damages Extend		for 150 - 225 m				
side	vertical	from base line to upward without limit				
$1/3 \cdot L^{2/3}$	longitudinal	11,97035 m	atau	14,5 m		
B/5	tranverse	8,32 m	atau	11,5 m		
bottom						
$0,3L$						
B/15	vertical	2,773333 m	atau	6 m		whichever is less
L/10	longitudinal	21,52 m	atau	5 m		whichever is less
B/6	tranverse	6,933333 m	atau	10 m		whichever is less
Other						
B/15	vertical	2,773333 m	atau	6 m		whichever is less
L/10	longitudinal	21,52 m	atau	5 m		whichever is less
B/6	tranverse	6,933333 m	atau	10 m		whichever is less

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa panjang kebocoran untuk longitudinal = 11,97m , panjang kebocoran secara melintang = 8,32m dan panjang kebocoran *vertical* mulai dari *base line* sampai tak terhingga.



Gambar 4.27. *Damage Assumption*

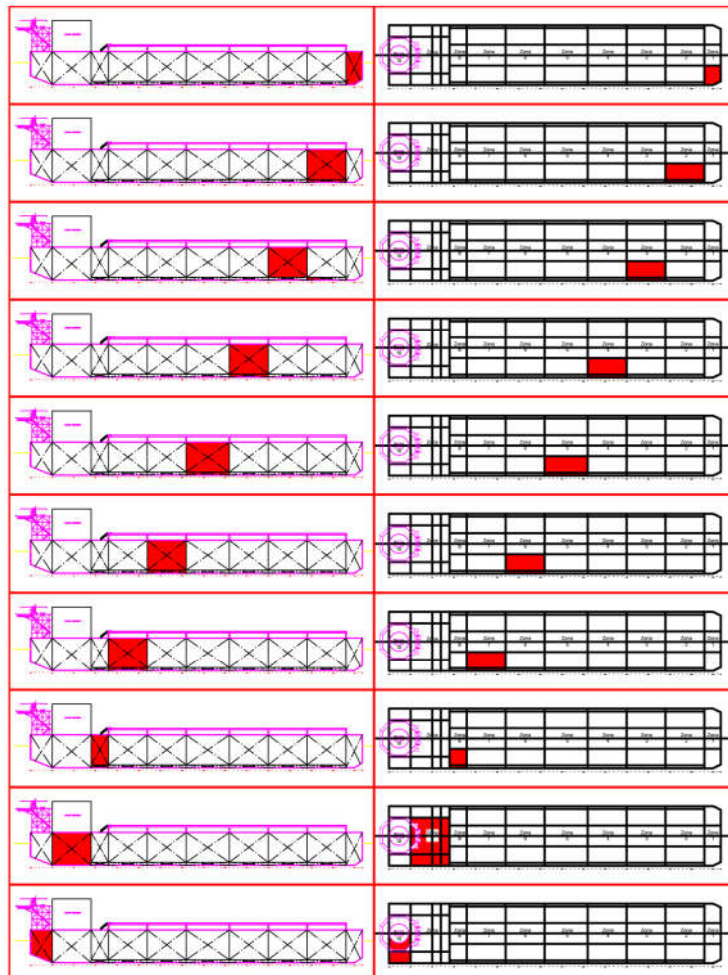
Gambar segitiga merah menunjukkan panjang dan kedalaman kebocoran yang disaratkan oleh MARPOL Annex 1 chapter 4 tentang *damage assumption*. Diaplikasikan pada desain awal FSO. Pada ilustrasi diatas terjadi *damage* pada *cargo side tank*, *wing ballast tank* dan *side water ballast tank*. Jadi untuk ruangan diantara sekat kedap pada gambar diatas terlihat (*cargo side tank*, *wing ballast tank* dan *side water ballast tank*) dianggap satu kompartemen.



Gambar 4.28. *Cargo side tank*, *wing ballast tank* dan *side water ballast tank* di anggap 1 kompartemen

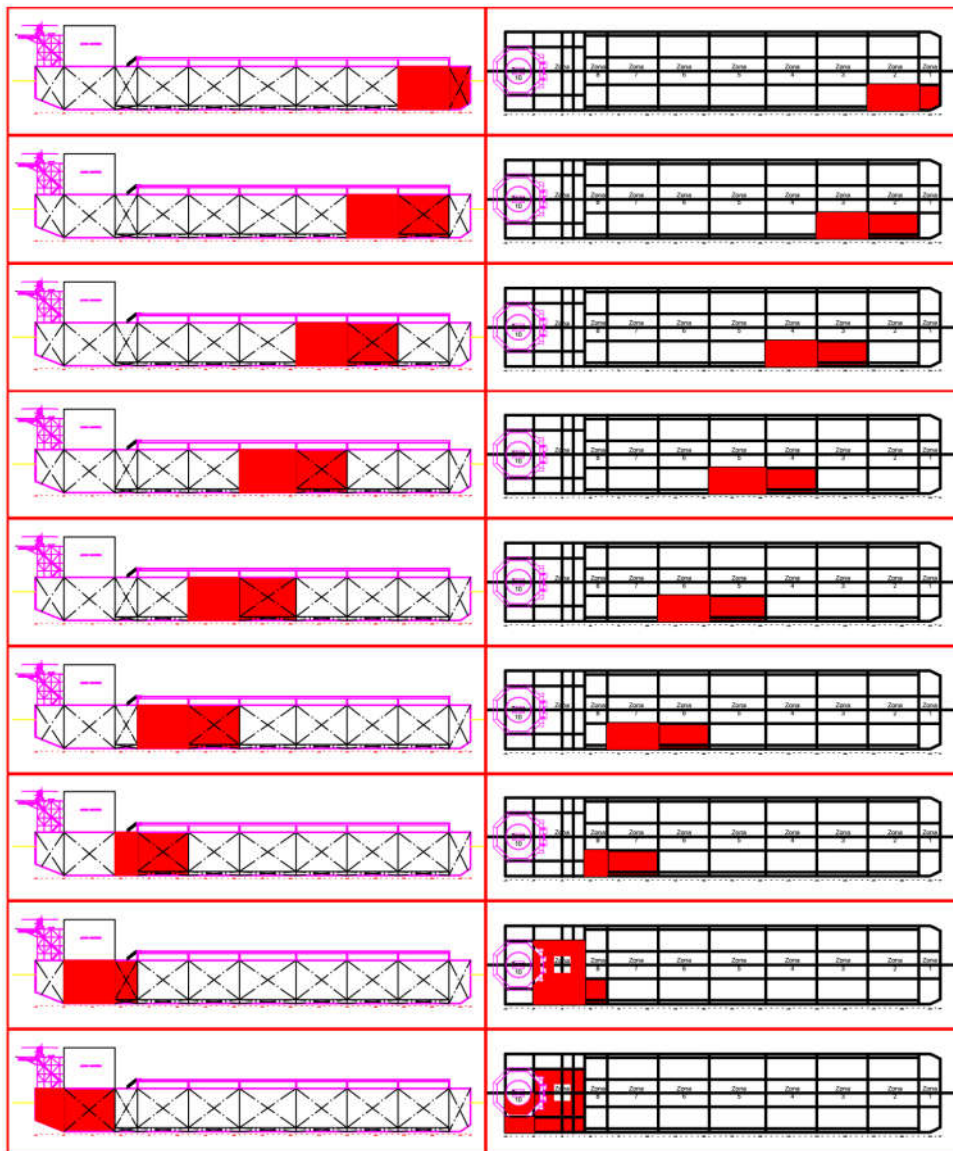
Berikut ini adalah gambar dari simulasi kebocoran kapal, mulai dari 1 kompartemen hingga seluruh kompartemen bocor :

- 1 Zona Bocor



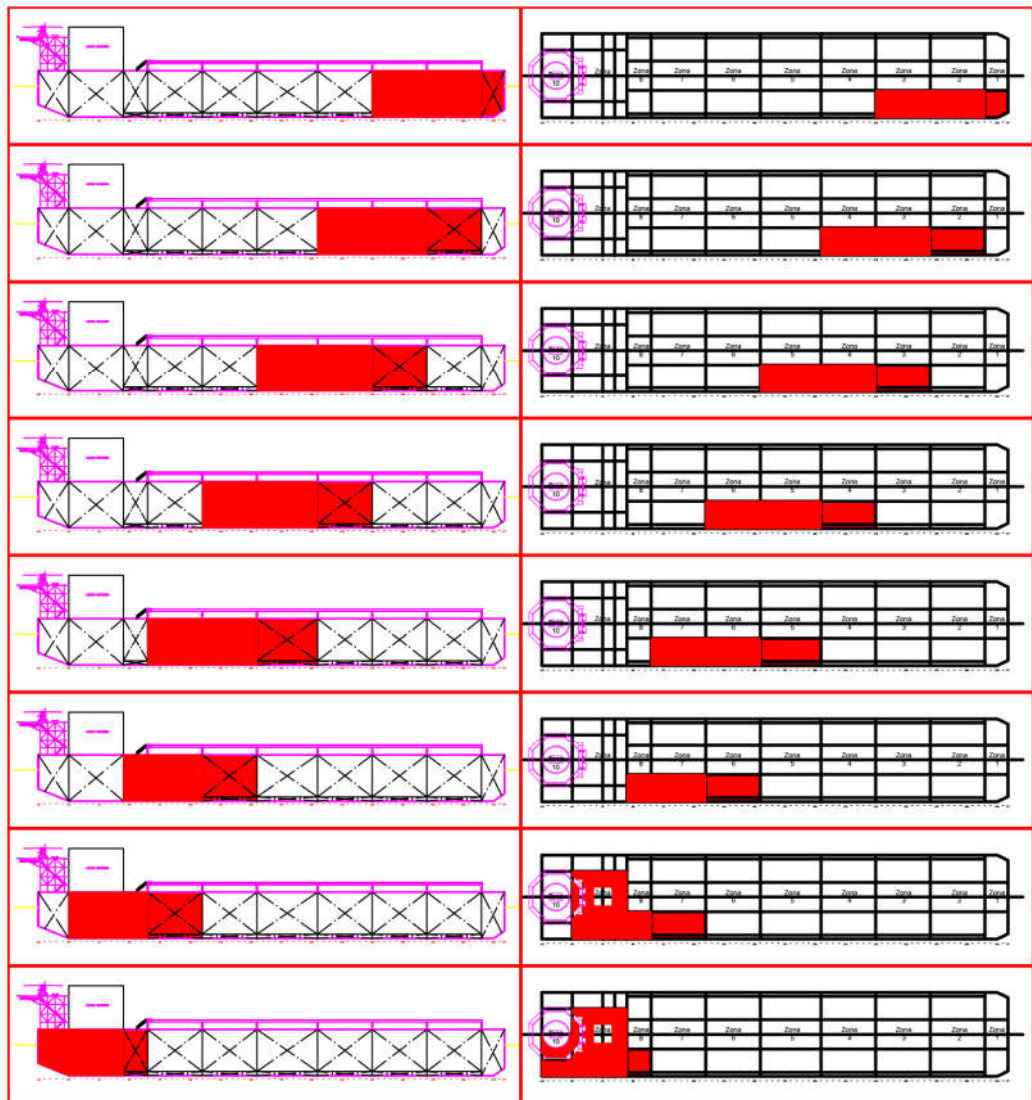
Gambar 4.29. Simulasi 1 zona bocor

- 2 Zona Bocor



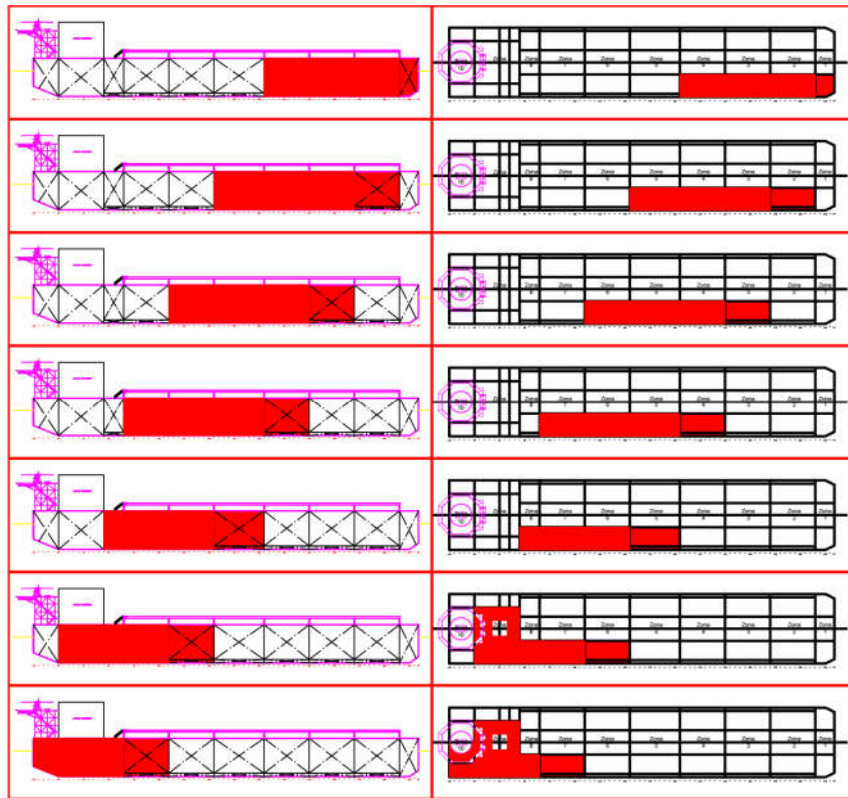
Gambar 4.30. Simulasi 2 zona bocor

- 3 Zona Bocor



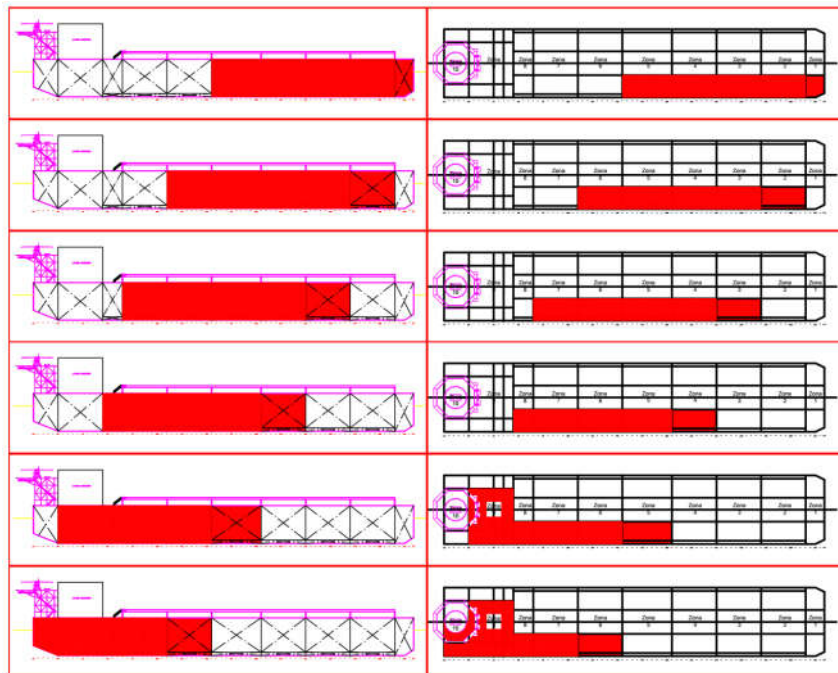
Gambar 4.31. Simulasi 3 zona bocor

- 4 Zona bocor



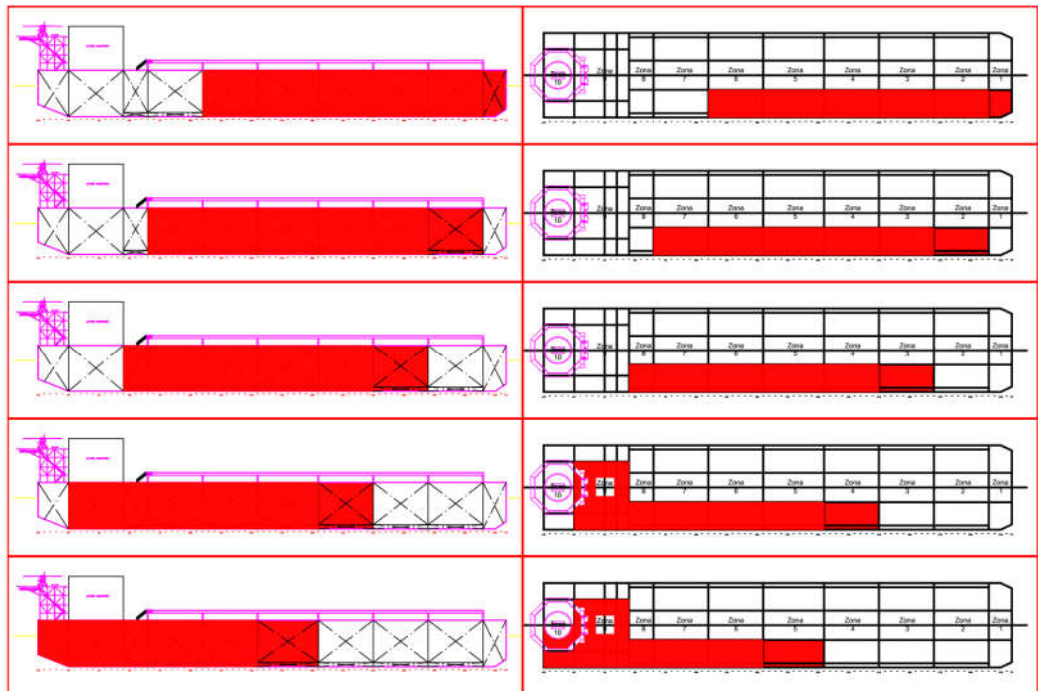
Gambar 4.32. Simulasi 4 zona bocor

- 5 Zona bocor



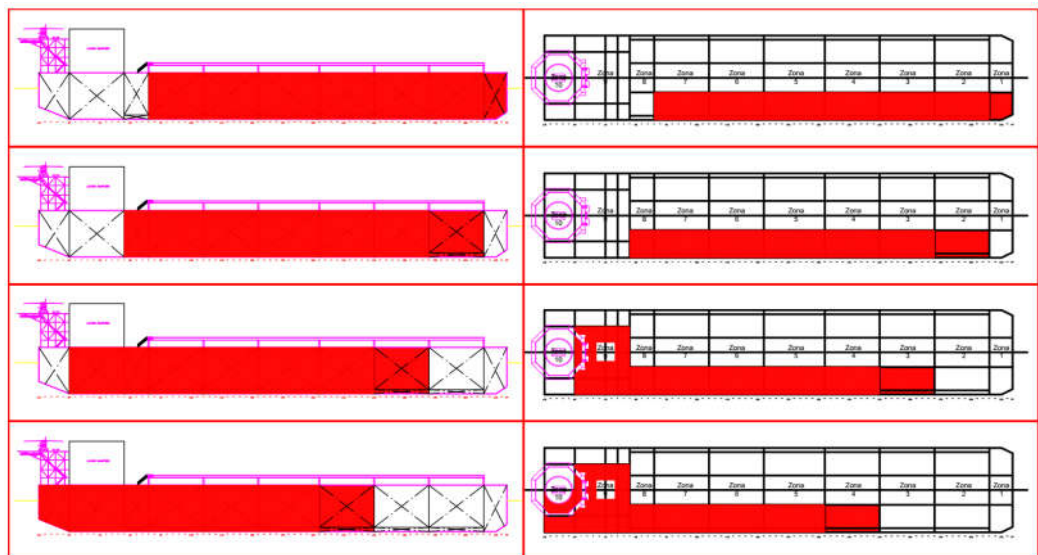
Gambar 4.33. Simulasi 5 zona bocor

- 6 Zona Bocor



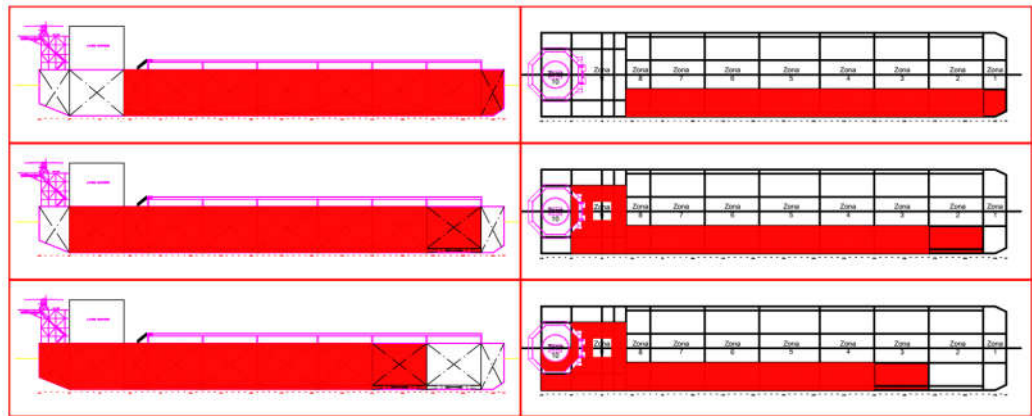
Gambar 4.34. Simulasi 6 zona bocor

- 7 Zona Bocor



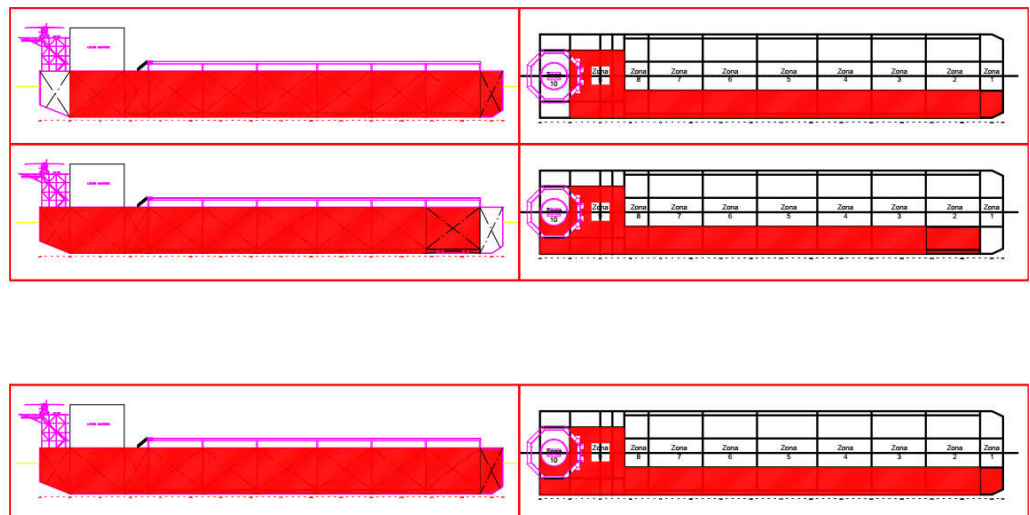
Gambar 4.35. Simulasi 7 zona bocor

- 8 Zona Bocor



Gambar 4.36. Simulasi 8 zona bocor

- 9 dan 10 Zona Bocor



Gambar 4.37. Simulasi 9 dan 10 zona bocor

4.7.2 Pembuatan *Damage Case*

Pembuatan *damage cases* dilakukan dengan cara mengisi tab *damage cases* di *software maxsurf* dengan cara membuat *case* baru dengan nama sesuai dengan kompartemen yang dibocorkan.

Room	Intact	Z1	Z2A	Z2A+B	Z2A+B+	Z1+Z2	Z3A	Z3A+B	Z3A+B+	Z2+Z3	Z1+Z2+Z	Z4A	Z4A+B	Z4A+B+	Z3+Z4	Z2+Z3+Z	Z1+Z2+Z	Z5A	Z5A+B	Z5A+B+	Z4+Z5	Z3+Z
1 F.P.T.P.																						
2 F.P.T.C.																						
3 F.P.T.S.																						
4 W.B.T.P.1																						
5 C.O.T.P.1																						
6 D.B.P.1																						
7 C.O.T.C.1																						
8 D.B.C.1																						
9 C.O.T.S.1																						
10 D.B.S.1																						
11 W.B.T.S.1																						
12 W.B.T.P.2																						
13 C.O.T.P.2																						
14 D.B.P.2																						
15 C.O.T.C.2																						
16 D.B.C.2																						
17 C.O.T.S.2																						
18 D.B.S.2																						
19 W.B.T.S.2																						
20 W.B.T.P.3																						
21 C.O.T.P.3																						
22 D.B.P.3																						
23 C.O.T.C.3																						
24 D.B.C.3																						
25 C.O.T.S.3																						
26 D.B.S.3																						
27 W.B.T.S.3																						
28 W.B.T.P.4																						
29 C.O.T.P.4																						
30 D.B.P.4																						
31 C.O.T.C.4																						
32 D.B.C.4																						
33 C.O.T.S.4																						
34 D.B.S.4																						
35 W.B.T.S.4																						
36 W.B.T.P.5																						
37 C.O.T.P.5																						
38 D.B.P.5																						
39 C.O.T.C.5																						
40 D.B.C.5																						
41 C.O.T.S.5																						
42 D.B.S.5																						

Gambar 4.38. Pembuatan *damage case*

4.8 Simulasi Kebocoran Pada *Software Maxsurf Stability*

Setelah semua selesai dipersiapkan maka *software* akan melakukan kalkulasi secara otomatis untuk mendapatkan nilai faktor p seperti pada gambar dibawah ini:

Zones	x1 (aft end of damage from aft terminal of Ls)	x2 (fwd end of damage from aft terminal of Ls)	J	Min. damage length m	Combined zone length m	MSC.216(82) p (single zone)	MSC.216(82) p (multiple zone)	Test (Y/N)
4 Zone 3, 1	165.000	192.000	0.1171	0.000	27.000	0.058006	0.058006	Yes
5 Zone 4, 1	138.000	165.000	0.1171	0.000	27.000	0.058006	0.058006	Yes
6 Zone 5, 1	108.000	138.000	0.1382	0.000	30.000	0.069209	0.069209	Yes
7 Zone 6, 1	81.000	108.000	0.1171	0.000	27.000	0.058006	0.058006	Yes
8 Zone 7, 1	54.000	81.000	0.1171	0.000	27.000	0.058006	0.058006	Yes
9 Zone 8, 1	42.000	54.000	0.0520	0.000	12.000	0.013381	0.013381	Yes
10 Zone 9, 1	15.000	42.000	0.1171	0.000	27.000	0.058006	0.058006	Yes
11 Zone 10, 1	0.000	15.000	0.0651	0.000	15.000	0.042706	0.042706	Yes
12 sub total						0.504140	0.504140	
13 cumulative total						0.504140	0.504140	
14 2 adjacent zone								
15 Zone 1, 2	192.000	230.398	0.1666	0.000	38.398	0.134524	0.045711	Yes
16 Zone 2, 2	165.000	219.000	0.2343	0.000	54.000	0.167428	0.051416	Yes
17 Zone 3, 2	138.000	192.000	0.2343	0.000	54.000	0.167428	0.051416	Yes
18 Zone 4, 2	108.000	165.000	0.2474	0.000	57.000	0.180266	0.053051	Yes
19 Zone 5, 2	81.000	138.000	0.2474	0.000	57.000	0.180266	0.053051	Yes
20 Zone 6, 2	54.000	108.000	0.2343	0.000	54.000	0.167428	0.051416	Yes
21 Zone 7, 2	42.000	81.000	0.1692	0.000	39.000	0.104828	0.033440	Yes
22 Zone 8, 2	15.000	54.000	0.1692	0.000	39.000	0.104828	0.033440	Yes
23 Zone 9, 2	0.000	42.000	0.1622	0.000	42.000	0.148608	0.048976	Yes
24 sub total						0.421917	0.421917	
25 cumulative total						0.926058	0.926058	
26 3 adjacent zone								
27 Zone 1, 3	165.000	230.398	0.2838	27.000	65.398	0.250182	0.006236	Yes
28 Zone 2, 3	138.000	219.000	0.3515	27.000	81.000	0.284225	0.007375	Yes
29 Zone 3, 3	108.000	192.000	0.3645	27.000	84.000	0.297246	0.007558	Yes
30 Zone 4, 3	81.000	165.000	0.3645	30.000	84.000	0.297246	0.005923	Yes
31 Zone 5, 3	54.000	138.000	0.3645	27.000	84.000	0.297246	0.007558	Yes
32 Zone 6, 3	42.000	108.000	0.2864	27.000	68.000	0.219126	0.004876	Yes
33 Zone 7, 3	15.000	81.000	0.2864	12.000	66.000	0.219126	0.022852	Yes
34 Zone 8, 3	0.000	54.000	0.2343	27.000	54.000	0.200903	0.004383	Yes
35 sub total						0.066771	0.066771	
36 cumulative total						0.992828	0.992828	
37 4 adjacent zone								
38 Zone 1, 4	138.000	230.398	0.4010	54.000	92.398	0.367366	0.000387	Yes
39 Zone 2, 4	108.000	219.000	0.4817	54.000	111.000	0.414435	0.000392	Yes
40 Zone 3, 4	81.000	192.000	0.4817	57.000	111.000	0.414435	0.000208	Yes
41 Zone 4, 4	54.000	165.000	0.4817	57.000	111.000	0.414435	0.000208	Yes
42 Zone 5, 4	42.000	138.000	0.4166	54.000	96.000	0.349330	0.000386	Yes
43 Zone 6, 4	15.000	108.000	0.4036	39.000	93.000	0.336309	0.002885	Yes
44 Zone 7, 4	0.000	81.000	0.3515	39.000	81.000	0.317896	0.002694	Yes
45 sub total						0.007161	0.007161	
46 cumulative total						0.999989	0.999989	
47 5 adjacent zone								
48 Zone 1, 5	108.000	230.398	0.5312	81.000	122.398	0.497576	0.000000	No (below min. p-factor)
49 Zone 2, 5	81.000	219.000	0.5989	84.000	138.000	0.531623	0.000000	No (below min. p-factor)

Gambar 4.39. Tabel nilai faktor p

Nilai pada faktor p merupakan hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan secara *longitudinal* bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi jumlah dan jarak sekat melintang.

Lalu didapatkan juga nilai dari faktor r seperti gambar dibawah ini :

Zones	Total r	r 1	r 2	r 3	r 4	r 5	r 6
1 adjacent zones							
Zone 1, 1	1,0000	0,8572	0,1427	n/a	n/a	n/a	n/a
Zone 2, 1	1,0000	0,2075	0,6658	0,1265	n/a	n/a	n/a
Zone 3, 1	1,0000	0,2075	0,6658	0,1265	n/a	n/a	n/a
Zone 4, 1	1,0000	0,2075	0,6658	0,1265	n/a	n/a	n/a
Zone 5, 1	1,0000	0,2035	0,6646	0,1317	n/a	n/a	n/a
Zone 6, 1	1,0000	0,2075	0,6658	0,1265	n/a	n/a	n/a
Zone 7, 1	1,0000	0,2075	0,6658	0,1265	n/a	n/a	n/a
Zone 8, 1	1,0000	0,2605	0,6732	0,0662	n/a	n/a	n/a
Zone 9, 1	1,0000	0,6493	0,3506	n/a	n/a	n/a	n/a
Zone 10, 1	1,0000	0,6197	0,3802	0,0000	n/a	n/a	n/a
2 adjacent zones							
Zone 1, 2	1,0000	0,1849	0,6579	0,0032	0,1537	n/a	n/a
Zone 2, 2	1,0000	0,1896	0,6598	0,1505	n/a	n/a	n/a
Zone 3, 2	1,0000	0,1896	0,6598	0,1505	n/a	n/a	n/a
Zone 4, 2	1,0000	0,1888	0,6595	0,1515	n/a	n/a	n/a
Zone 5, 2	1,0000	0,1888	0,6595	0,1515	n/a	n/a	n/a
Zone 6, 2	1,0000	0,1896	0,6598	0,1505	n/a	n/a	n/a
Zone 7, 2	1,0000	0,1958	0,6620	0,1420	n/a	n/a	n/a
Zone 8, 2	1,0000	0,1958	0,4305	0,2315	0,1420	n/a	n/a
Zone 9, 2	1,0000	0,6034	0,3965	0,0000	n/a	n/a	n/a
3 adjacent zones							
Zone 1, 3	1,0000	0,1819	0,6568	0,0033	0,1578	n/a	n/a
Zone 2, 3	1,0000	0,1849	0,6580	0,1570	n/a	n/a	n/a
Zone 3, 3	1,0000	0,1846	0,6579	0,1574	n/a	n/a	n/a
Zone 4, 3	1,0000	0,1846	0,6579	0,1574	n/a	n/a	n/a
Zone 5, 3	1,0000	0,1846	0,6579	0,1574	n/a	n/a	n/a
Zone 6, 3	1,0000	0,1869	0,6588	0,1542	n/a	n/a	n/a
Zone 7, 3	1,0000	0,1869	0,4217	0,2370	0,1542	n/a	n/a
Zone 8, 3	1,0000	0,1828	0,4176	0,2395	0,1598	0,0000	n/a
4 adjacent zones							
Zone 1, 4	1,0000	0,1807	0,6564	0,0033	0,1595	n/a	n/a
Zone 2, 4	1,0000	0,1827	0,6572	0,1600	n/a	n/a	n/a
Zone 3, 4	1,0000	0,1827	0,6572	0,1600	n/a	n/a	n/a
Zone 4, 4	1,0000	0,1827	0,6572	0,1600	n/a	n/a	n/a
Zone 5, 4	1,0000	0,1836	0,6575	0,1588	n/a	n/a	n/a
Zone 6, 4	1,0000	0,1838	0,4186	0,2389	0,1585	n/a	n/a
Zone 7, 4	1,0000	0,1811	0,4158	0,2406	0,1623	0,0000	n/a
5 adjacent zones							
Zone 1, 5	1,0000	0,1800	0,6561	0,0033	0,1605	n/a	n/a
Zone 2, 5	1,0000	0,1817	0,6568	0,1614	n/a	n/a	n/a
Zone 3, 5	1,0000	0,1817	0,6568	0,1614	n/a	n/a	n/a

Gambar 4.40. Tabel nilai r

Nilai pada faktor r merupakan hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan secara *transversal* bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi jumlah dan jarak sekat memanjang.

Dan yang terakhir ini dapat nilai faktor v yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

File Edit View Case Analysis Display Data Window Help

n/a for Prob. Damage analysis n/a for Prob. Damage analysis

Probabilistic Damage FULL LOAD CARGO T Intact

Assembly

Design

- Geometry
- Compartmentation
- ERP
- ERS
- Reject Water Tank
- Fresh Water Tank
- Fresh Water Tank
- Diesel Oil Tank
- Slop Tank
- Lubrication Oil Tank
- Fresh Water Tank
- Fresh Water Tank
- Diesel Oil Tank
- Diesel Oil Tank
- Lubrication Oil Tank
- Diesel Oil Tank
- Fresh Water Tank
- Fresh Water Tank
- Reject Water Tank

Properties


v-Factors for: LIGHTSHIP (Disp: 19727 t, Tamid: 2,214 m, Trim: 2,702)

	Zones	Total v	v 1	v 2	v 3
1	1 adjacent zone				
2	Zone 1, 1	1,000000	1,361096	-0,3610	n/a
3	Zone 2, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
4	Zone 3, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
5	Zone 4, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
6	Zone 5, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
7	Zone 6, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
8	Zone 7, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
9	Zone 8, 1	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
10	Zone 9, 1	1,000000	1,361096	-0,3610	n/a
11	Zone 10, 1	1,000000	1,361096	-0,3610	n/a
12					
13					
14	2 adjacent zones				
15	Zone 1, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
16	Zone 2, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
17	Zone 3, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
18	Zone 4, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
19	Zone 5, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
20	Zone 6, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
21	Zone 7, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
22	Zone 8, 2	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
23	Zone 9, 2	1,000000	1,361096	-0,3610	n/a
24					
25					
26	3 adjacent zones				
27	Zone 1, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
28	Zone 2, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
29	Zone 3, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
30	Zone 4, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
31	Zone 5, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
32	Zone 6, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
33	Zone 7, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
34	Zone 8, 3	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
35					
36					
37	4 adjacent zones				
38	Zone 1, 4	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
39	Zone 2, 4	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610
40	Zone 3, 4	1,000000	deck below WL: 6,83 m	1,36109	-0,3610

Ready

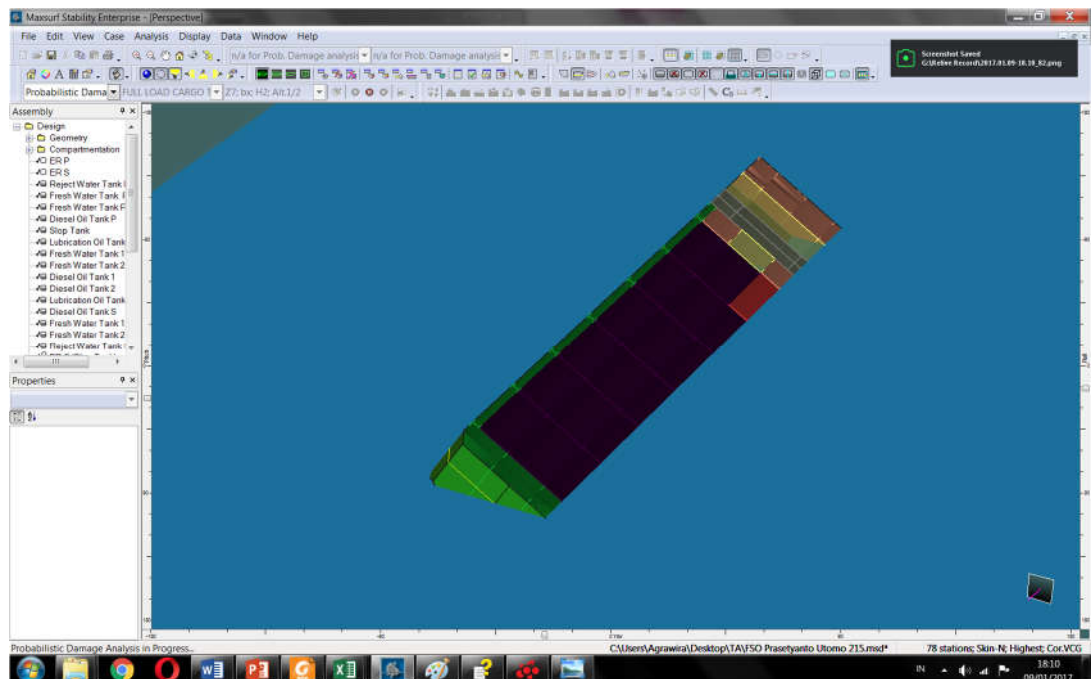
Gambar 4.41. Tabel nilai v

Dimana nilai pada faktor v merupakan hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan secara *vertical* bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi jumlah dan jarak sekat dek.

Setelah dapat mengetahui hal hal dia atas dilakukan *running* untuk analisa *damage stability* dengan cara Klik  pada *Maxsurf Stability*, maka *software maxsurf* akan melakukan analisa stabilitas terhadap tiap-tiap *case* tersebut dari *heel* -30° hingga 180° dihitung tiap kenaikan 10° dengan arah *heel* ke bagian *port*.

Analisa ini menghasilkan nilai dari beberapa hal yang dicantumkan dalam sebuah tabel hasil perhitungan yang akan kita gunakan untuk menentukan hasil analisa *damage stability* nilai - nilai tersebut adalah :

1. Nilai indeks A
2. Nilai indeks S
3. Perbandingan nilai A dibanding R
4. Nilai *immersion angle*
5. Nilai *range degree*
6. *GZ max*
7. *Equilibrium angle degree*
8. *Angle of vanishing stability degree*
9. *GZ max angle*
10. *K value*



Gambar 4.42. Penampakan *running damage stability*

Probabilistic Damage Analysis - Results																
File Edit View Case Analysis Display Data Window Help																
I/A for Prob. Damage analysis I/A for Prob. Damage analysis																
Probabilistic Damage Analysis - Results																
FULL LOAD CARGO 1 28.2 t; H2; Alt:1/2																
Assembly																
Design																
Geometry																
Compartmentation																
EHP																
ERB																
Reject Water Tank																
Fresh Water Tank 1																
Fresh Water Tank 2																
Desal On Tank P																
Stop Tank																
Laboration Oil Tank																
Fresh Water Tank 1																
Fresh Water Tank 2																
Desal On Tank 2																
Laboration Oil Tank																
Desal On Tank 2																
Reject Water Tank 1																
Reject Water Tank 2																
Properties																
Description																
Status																

Setelah mendapatkan tabel hasil analisa *damage stability* dapat dilakukan rekapitulasi hasil data tabel tersebut untuk mempermudah pembacaan hasil analisa

Peraturan SOLAS tentang *Subdivision* dibuat dimaksudkan untuk mendapatkan jarak sekat kedap minimum bagi kapal yang masih mempengaruhi standard keselamatan.

4.9.1 Nilai indeks R

Untuk mengetahui memenuhi atau tidaknya jarak sekat minimum suatu kapal maka SOLAS *consolidated edition 2009 chapter II-1 part B-1 tentang Subdivision and damage stability of cargo ships* mensyaratkan suatu kapal harus memiliki Nilai indeks A sama atau lebih besar indeks derajat *subdivision* (R).

Kapal desain awal FSO ini memiliki panjang 215.2 m. SOLAS mensyaratkan untuk kapal di atas 150 m maka nilai indeks R nya dapat di definisikan seperti persamaan dibawah ini:

$$R = 1 - (128 / (L_s + 152))$$

$$R = 1 - (128 / (215.2 + 152))$$

$$R = 0.65141$$

Rumus 4.1 Perhitungan index R

Indeks derajat *subdivision* yang dicapai (*Attained Subdivision Index, A*) Kapal desain awal FSO ini tidak boleh kurang dari harga indeks R = 0.65141

4.9.2 Nilai Indeks A

Indeks A dihitung berdasarakan persamaan di bawah ini :

$$A = \sum P_i \cdot S_i$$

Rumus 4.2 Rumus index A

i =Menunjukkan kompartemen atau kelompok kompartemen dalam posisi berdekatan yang dianggap dapat mengalami kebocoran dan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap nilai indeks A.

P_i =Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukan probabilitas / kemungkinan bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran.

S_i =Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan kapal selamat setelah kompartemen yang dipilih (i) mengalami kebocoran.

Dalam perhitungan *Probabilistic damage* menggunakan *software Maxsurf Stability* ini Nilai P dibagi lagi menjadi 3 faktor yaitu :

$$P = p \cdot r \cdot v$$

Rumus 4.3 Rumus faktor P

Dimana :

p = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan secara *longitudinal* bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi jumlah dan jarak sekat melintang.

r = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan secara *transversal* bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi jumlah dan jarak dari sekat memanjang.

v = Hasil perhitungan (nilai) yang menunjukkan probabilitas / kemungkinan secara vertikal bahwa kompartemen yang dipilih (i) yang dapat mengalami kebocoran. Nilai ini dipengaruhi oleh jumlah dan jarak dari dek.

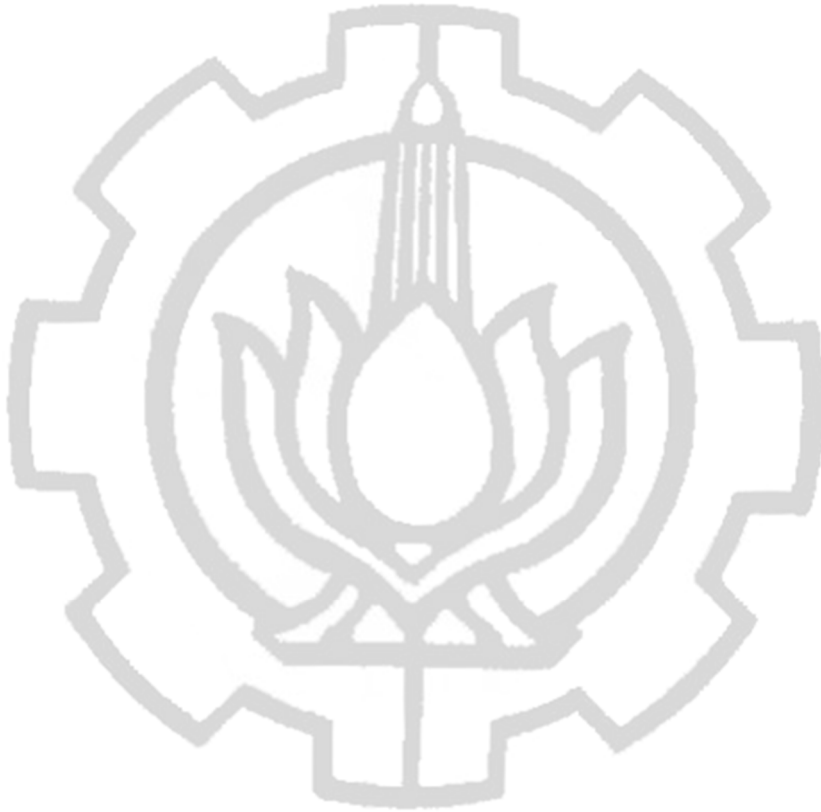
4.9.3 Tabel Rekapitulasi index A

Dari hasil analisa *software Maxsurf Stability* maka didapatkan hasil seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4.14. Rekapitulasi index A

number of adjacent zones to consider	Condition	A factor (p.r.v.s)
1	Deepest Subdivison Draft (As)	0,50414
	Partial subdivision draft (Ap)	0,565264
	Light service draft (Al)	0,686183
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,564998
2	Deepest Subdivison Draft	0,879733
	Partial subdivision draft	0,882585
	Light service draft	0,945339
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,893994
3	Deepest Subdivison Draft	0,893506
	Partial subdivision draft	0,912806
	Light service draft	0,945914
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,911706
4	Deepest Subdivison Draft (As)	0,898975
	Partial subdivision draft (Ap)	0,918891
	Light service draft (Al)	0,952219
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,917589

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 5

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan analisa hasil perhitungan *damage stability* yang telah dilakukan sebelumnya, nilai index A akan dibandingkan dengan index R apabila nilai index A lebih besar daripada index R maka pembagian sekat pada kapal sudah memenuhi kriteria.

5.2 Perbandingan Nilai Index A dan Index R

Berikut ini adalah tabel perhitungan nilai index A dari hasil analisa *software maxsurf stability* :

Tabel 5.1. Rekapitulasi index A

number of adjacent zones to consider	Condition	A factor (p.r.v.s)
1	Deepest Subdivison Draft (As)	0,50414
	Partial subdivision draft (Ap)	0,565264
	Light service draft (Al)	0,686183
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,564998
2	Deepest Subdivison Draft	0,879733
	Partial subdivision draft	0,882585
	Light service draft	0,945339
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,893994
3	Deepest Subdivison Draft	0,893506
	Partial subdivision draft	0,912806
	Light service draft	0,945914
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,911706
4	Deepest Subdivison Draft (As)	0,898975
	Partial subdivision draft (Ap)	0,918891
	Light service draft (Al)	0,952219
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,917589

Hasil di atas dibandingkan dengan nilai index R yang telah dilakukan sebelumnya yaitu sebagai berikut :

Tabel 5.2. Perbandingan index A dan R

number of adjacent zones to consider	Condition	A factor (p.r.v.s)	R (required value)	Pass/Fail
1	Deepest Subdivison Draft (As)	0,50414	0,325708	Pass
	Partial subdivision draft (Ap)	0,565264	0,325708	Pass
	Light service draft (Al)	0,686183	0,325708	Pass
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,564998	0,651416	Fail
2	Deepest Subdivison Draft	0,879733	0,325708	Pass
	Partial subdivision draft	0,882585	0,325708	Pass
	Light service draft	0,945339	0,325708	Pass
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,893994	0,651416	Pass
3	Deepest Subdivison Draft	0,893506	0,325708	Pass
	Partial subdivision draft	0,912806	0,325708	Pass
	Light service draft	0,945914	0,325708	Pass
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,911706	0,651416	Pass
4	Deepest Subdivison Draft (As)	0,898975	0,325708	Pass
	Partial subdivision draft (Ap)	0,918891	0,325708	Pass
	Light service draft (Al)	0,952219	0,325708	Pass
	Attained subdivision index MSC.216(82)	0,917589	0,651416	Pass

Pada tabel 5.2 dapat dilihat bahwa nilai index A dan R pada 1 zona kebocoran hingga 4 zona kebocoran. Di hitung hanya hingga 4 zona kebocoran karena seperti terlihat pada gambar 4.38 nilai faktor p untuk perhitungan di atas 4 zona kebocoran berada dibawah p minimum.

Pada tabel 5.2 juga terlihat bahwa pada 1 zona kebocoran nilai A tidak memenuhi perbandingan $A > R$ dikarenakan perhitungan ini memang di peruntukan 2 atau lebih zona kebocoran.

Pada Tabel rekapitulasi $A > R$ diatas dapat dilihat bahwa besarnya nilai index A lebih besar daripada nilai *requirement* SOLAS (R). Karena nilai $A > R$ maka pembagian sekat pada desain awal FSO sudah memenuhi kriteria SOLAS Chapter II-1 Part B-1 tentang *Subdivision and damage stability of cargo ships*.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan beberapa kesimpulan beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisa yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya. Dalam bab ini juga akan disampaikan beberapa saran yang bisa dibahas sebagai kelanjutan dari tugas akhir ini.

6.2 Kesimpulan

1. Pada tugas ahir ini telah dilakukan perhitungan *damage stability* kapal desain awal FSO. Perhitungan *damage stability* desain awal FSO ini telah memenuhi peraturan SOLAS *chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and Damage Stability of Cargo ships*. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil akhir perhitungan nilai index $A = 0.917589$ yang lebih besar atau sama dengan perhitungan nilai indeks derajat *subdivision* $R = 0.6514$ yang disyaratkan oleh SOLAS. Karena nilai $A \geq R$ maka pembagian sekat pada kapal desain awal FSO sudah memenuhi persyaratan SOLAS.
2. Jumlah maksimal kompartemen bocor yang masih dapat ditahan oleh desain awal FSO ini adalah sampai dengan tiga kompartemen bocor. Hal itu dapat dilihat pada gambar 4.38 pada Bab 4. Pada gambar dapat dilihat bahwa nilai faktor p untuk lebih dari 4 zona kebocoran adalah dibawah nilai minimum p faktor sehingga tidak dapat dilakukan analisa.
3. Besar nilai trim kapal, berapa sudut oleng, berapa nilai GZ , dan data yang lainnya) setelah terjadi kebocoranan dapat dilihat pada lampiran hasil simulasi kebocoran. Hal tersebut dapat dijadikan suatu acuan dari pemilik kapal jika kapal mengalami kebocoran.

6.3 Saran

Berikut ini saran-saran dari penulis untuk perbaikan dan pengembangan pada penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang lebih sempurna, yaitu antara lain :

1. Mempelajari dan memahami lebih detail dalam merencanakan kebocoran khususnya kebocoran tangki-tangki pada ruang mesin.
2. Dalam simulasi kebocoran pada kapal baiknya selain melakukan perhitungan *damage stability* juga dilakukan perhitungan tegangan atau *stress* pada kapal saat terjadi kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

IMO SOLAS Consolidated Edition 2009, Chapter II-1 Part B Regulation 4 : Damage Stability.

Group of Authorities, “*Principles of Naval Architecture vol I*” The Society of Naval Architecture and Marine Engineering, New York, 1988.

K.J Rawson dan E.C. Tupper, “*Basic Ship Theori*”, Longman, London, 1983.

Soares, C.G., & Santos, T.A. (2014), “*Maritim Technologi and Engineering*” Taylor and Francis Grup, London.

Mula, I H., 2011, “*Kajian Damage Stability pada Konversi Kapal Tanker menjadi FSO dengan menggunakan Software Maxsurf* ”, Jurusan Teknik Perkapalan ITS, Surabaya.

Paik, J. K., & Thayambalii, A. K. (2007). *Ship-shaped Offshore Instalations*. San Ramon, CA, USA: Cambridge University Press.

Parsons, M. G. (t.thn.). *Parametric Design*.

Scheltema, RF de Here, “*Bouyancy and Stability of Ship*”, George G. Harrap & Co Ltd, London, 1969.

Utomo, P., 2013, “*Perancangan Awal FSO untuk Lapangan Minyak Kakap Di Laut Natuna*”, Jurusan Teknik Perkapalan ITS, Surabaya.

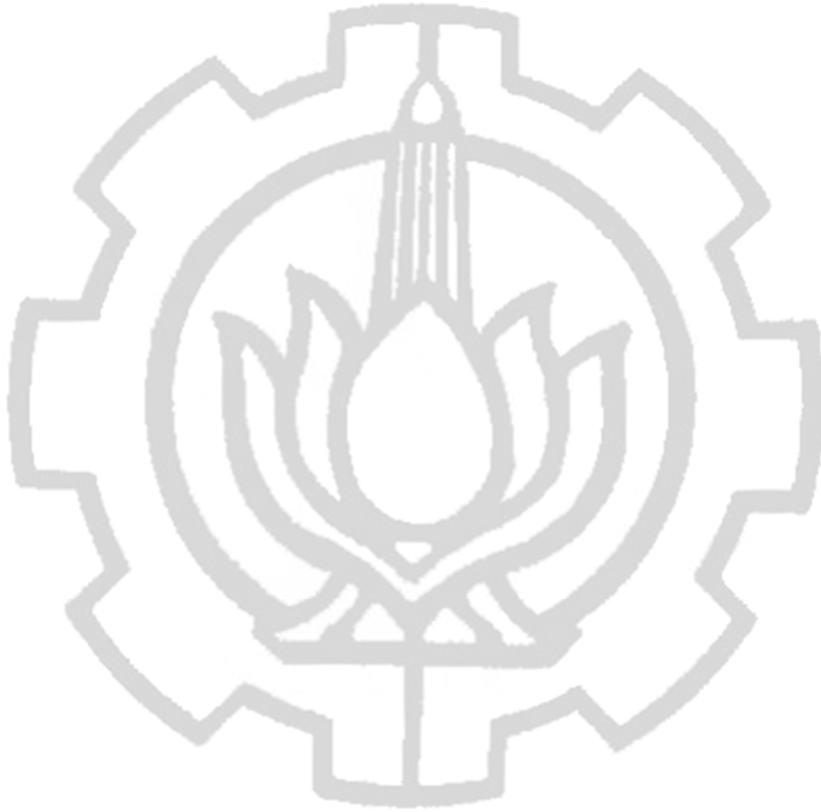
https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_production_storage_and_offloading,

Wikipedia – Floating Production Storage and Offloading, diakses pada tanggal 29 Agustus 2016.

<http://www.offshore-technology.com/projects/natuna/> , Offshore Technology

– Natuna Gas Field, diakses pada tanggal 29 Agustus 2016.

LAMPIRAN A – Perhitungan



LAMPIRAN B – Tabel Hasil Analisa Damage Stability

